

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Měření vyzařování nevizuálních světelných zdrojů
Measurement of non-visual radiation of light sources

2018

Martin Babják

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Babják**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 3907R001 Elektroenergetika
Téma: **Měření nevizuálního vyzařování světelných zdrojů**
Measurement of non-visual radiation of light sources
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- o Rozdělení vizuálního a nevizuálního záření
- o Biologické účinky nevizuálního záření
- o Normativní požadavky na měření nevizuálního záření
- o Metodika měření nevizuálního záření
- o Měření a vyhodnocení biologických účinků zářiče (svítidla)


Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU, CIE
- [4] Manuály k výpočetním programům (Relux, Dialux, WILS)
- [5] www.csorsostrava.cz

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2017
Datum odevzdání: 30.04.2018



prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry





prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Literaturu a další zdroje, z nichž jsem při zpracování čerpal, v práci řádně cituji a jsou uvedeny v seznamu použitých informačních zdrojů.

V Ostravě dne: 17. dubna 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Baljoch', is positioned above the printed text 'Podpis studenta'.

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval prof. Ing. Sokanskému, CSc. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Abstrakt

Tahle bakalářská práce se zabývá tématem na fotobiologickou bezpečnost. V úvodních kapitolách je blíže rozebrána teoretická část a následně praktická část.

V teoretické části jsou popsány základní vlastnosti, které se týkají vidění a různými typy záření v elektromagnetickém spektru vlnových délek, také různá onemocnění oka a kůže, které mohou nastat nadměrným působením daných záření. Jsou zde ještě popsány metody měření a způsoby vyhodnocování na fotobiologickou bezpečnost dle platné normy, podle které se všechny vyhodnocené výsledky zohledňují.

V praktické části proběhlo měření deseti různých svítidel, data z měření byly jak v hodnotách, tak i přímo v elektromagnetickém spektru a následně se vyhodnocovalo dle platné normy popsané v teoretické části.

Klíčová slova:

fotobiologická bezpečnost; mikrovlnné záření; infračervené záření; viditelné záření; ultrafialové záření; rentgenové záření; nebezpečí modrého světla; světelný zdroj; lidské oko

Abstract

This bachelor thesis deals with the topic of photobiological safety. In the introductory chapters the theoretical part and the practical part are analyzed.

The theoretical part describes the basic properties of vision and various types of radiation in the electromagnetic spectrum of wavelengths, as well as the various diseases of the eye and skin which can occur due to the excessive effects of given radiation. There are also described methods of measurement and methods of evaluation for photobiological safety according to the valid standard according to which all evaluated results are taken into account.

In the practical part, measurements of ten different luminaires were carried out, the measurement data were both in the values and directly in the electromagnetic spectrum and subsequently evaluated according to the valid standard described in the theoretical part.

Key words:

photobiological safety; microwaves radiation; infrared radiation; visible radiation; ultraviolet radiation; X-rays radiation; blue light hazard; light source; human eye

Obsah

1	Rozdělení vizuálního a nevizuálního záření.....	12
1.1	Mikrovlnné záření	12
1.2	Infračervené záření.....	12
1.2.1	Historie	13
1.2.2	Rozdělení.....	13
1.3	Viditelné záření	14
1.4	Ultrafialové záření.....	15
1.5	Rentgenové záření	17
2	Fotobiologické účinky.....	19
2.1	Účinky IR záření	19
2.2	Účinky UV záření.....	19
2.3	Blue hazard.....	20
3	Normativní požadavky na měření nevizuálního záření	22
3.1	Měření světelných zdrojů a soustav světelných zdrojů	22
3.2	Stárnutí světelných zdrojů (zahoření).....	22
3.3	Zkušební prostředí.....	22
3.4	Měření intenzity ozařování.....	23
3.5	Měření záře.....	23
3.5.1	Standardní metoda.....	23
3.5.2	Alternativní metoda.....	24
3.5.3	Měření velikosti zdroje.....	25
3.5.4	Výpočty	25
4	Metodika měření nevizuálního záření	26
4.1	Metoda měření.....	26
4.2	Vyhodnocování nebezpečí podle normy ČSN 62471	26
4.3	Spektrální váhové funkce	27
4.3.1	Spektrální váhová funkce pro aktinické nebezpečí pro oko a pokožku.....	27
4.3.2	Spektrální váhové funkce nebezpečí pro sítnici	28
5	Měření a vyhodnocení biologických účinků zářiče.....	31

5.1	Měření bodového zářiče SP-26UV18.....	31
5.2	Měření bodového zářiče SP-26IR18	33
5.3	Měření pruhového zářiče LL-60IR50.....	34
5.4	Měření pruhového zářiče LL-120IR50.....	36
5.5	Měření High power zářiče LL-130IR50.....	36
5.6	Měření bodového zářiče SP26W18	37
5.7	Měření bodového zářiče SP26W10	38
5.8	Měření pruhového zářiče LL60W120	39
5.9	Měření pruhového zářiče LL120W120	40
5.10	Měření pruhového zářiče LL130W120	41
5.11	Postup výpočtu z naměřených spekter	44
6	Závěr	45
7	Použité zdroje.....	46

Úvod

Hlavním cílem mé bakalářské práce bylo změřit a vyhodnotit několik světelných zdrojů na fotobiologickou bezpečnost pro člověka. Nejprve je v této práci třeba objasnit různé účinky infračerveného, viditelného a ultrafialového záření. Nikdo se v historii nezkoumal, jestli světelné zdroje vyzařující viditelné záření, nevyzařují záření, které by mohlo člověku poškodit zrak i pokožku. Nebyly ani dané normy, podle kterých by se z hlediska nebezpečí daly vyhodnotit. V současné době je však důležité zabývat se bezpečností světelných zdrojů, protože se na trhu mohou vyskytovat nekvalitní zdroje, které dané normy nerespektují a vyzařují nadmíru UV záření a velké množství modrého světla. Důležité je však při měření použít specifikované měřicí přístroje a metody, kterými lze s vysokou přesností naměřit a vyhodnotit požadované výsledky.

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1-1 Dělení elektromagnetického spektra s mikrovlnným zářením. [2]</i>	12
<i>Obrázek 1-2 Dělení elektromagnetického spektra s vyznačeným IR zářením. [2]</i>	13
<i>Obrázek 1-3 Rozdělení viditelného záření podle vlnových délek. [3]</i>	15
<i>Obrázek 1-4 Relativní citlivost oka. [4]</i>	15
<i>Obrázek 1-5 Dělení elektromagnetického spektra s vyznačeným UV zářením. [2]</i>	17
<i>Obrázek 1-6 Snímek ruky při ozáření rentgenovým zářením. [8]</i>	17
<i>Obrázek 1-7 Dělení elektromagnetického spektra s rentgenovým zářením. [2]</i>	18
<i>Obrázek 2-1 Relativní citlivost sítnice pro BH, i další barvy než modrá. [9]</i>	20
<i>Obrázek 3-1 Měření intenzity ozařování. [10]</i>	23
<i>Obrázek 3-2 Příklad zobrazovacího zařízení pro měření záře. [10]</i>	24
<i>Obrázek 3-3 Alternativní technika měření záře. [10]</i>	25
<i>Obrázek 4-1 Použitá metoda měření pro všechny svítidla.</i>	26
<i>Obrázek 5-1 Ukázka bodového zářiče SP26R18.[11]</i>	32
<i>Obrázek 5-2 Ukázka pruhového zářiče LL60IR50.[11]</i>	35
<i>Obrázek 5-3 Ukázka High power zářiče LL130W120.[11]</i>	42

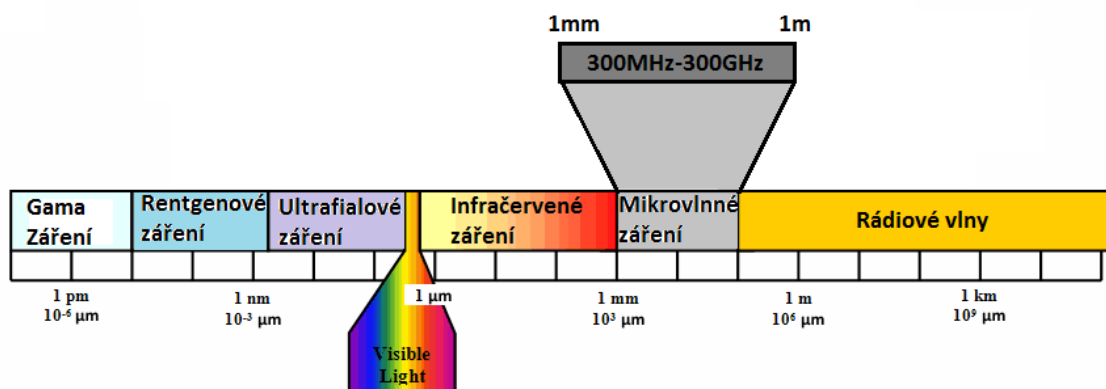
Seznam symbolů a zkratek

Symbol	Název	Jednotka
λ	Vlnová délka	Nm
φ	Světelný tok	lm
φ_e	Zářivý tok	W
E	Osvětlenost	lx
L_B	Vážená zář světla	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
I	Svítivost	cd
Ω	Prostorový úhel	sr
L	Jas	$cd \cdot m^{-2}$
IR	Infračervené záření	nm
UV	Ultrafialové záření	nm
X-ray	Rentgenové záření	nm
ČSN	Česká technická norma	
CIE	Mezinárodní komise pro osvětlování	

1 Rozdělení vizuálního a nevizuálního záření

1.1 Mikrovlnné záření

Mikrovlnné záření se řadí do rozsahu elektromagnetického spektra mezi rádiové a infračervené záření. Mikrovlnné záření se využívá většinou pro komunikační systémy typu point-to-point, a to podle federální komunikační komise FCC, která zprostředkovává všechny druhy informací, včetně hlasu, dat a videa v analogovém i digitálním formátu. Používají se také pro kontrolní řízení a získávání dat pro vzdálené stroje, spínače, ventily a signály. Další důležitou aplikací u mikrovln je radar. Tohle slovo bylo původně jen zkratkou pro RAadio Detection and Ranging. Dnes se používá jen samotný radar pro jednoduchost. Před druhou světovou válkou britští rádioví inženýři zjistili, že krátké vlnové délky mohou být odrazeny od vzdálených objektů, jakou jsou lodě a letadla, a vratný signál může být detekován s vysoce citlivými směrovými anténami, takže přítomnost a umístění těchto objektů by mohlo být určeno. Radar je používán i u dalších aplikací jako třeba dopplerovský efekt. Tedy když se blíží objekt s vysokou rychlostí, zdá se, že se zvuk zvyšuje až dokud se neotočí. Potom jak se vzdaluje, zvuk vypadá že se snižuje. Mezi běžné použití patří jednoduché detektory pohybu, radarové zbraně, výškoměry a meteorologické radary, které mohou sledovat trojrozměrný pohyb kapiček vody v atmosféře. Tyhle aplikace používají tzv. aktivní snímání, protože jsou přenášeny mikrovlnami a odražené jsou přijímány a analyzovány. Při pasivním snímání jsou pozorovány a analyzovány přírodní zdroje mikrovln. Mnohé z těchto pozorování jsou prováděny družicemi, které hledají buď zpět na zemi nebo do vesmíru. [1]



Obrázek 1-1 Dělení elektromagnetického spektra s mikrovlnným zářením. [2]

1.2 Infračervené záření

Infračervené záření vyzařuje každé těleso, které má vyšší teplotu, než je hodnota absolutní nuly ($0\text{ K} = -273,15\text{ }^\circ\text{C}$). Z toho můžeme usoudit, že vyzařování je ovlivňováno teplotou tělesa. Infračervené záření je v podstatě jeden z prvních forem přenosu tepla, se kterým se setkáváme každý den. Energie se neabsorbuje vzduchem a stává se teplem až poté, co ji objekt absorbuje, čímž se zahřeje. Síla záření se může projevit tedy jako chemická změna absorpčního objektu (polymerace) nebo jako odpařování vody nebo rozpouštění (tj. sušení). Šumavský zákon Stefan-Boltzman uvádí, že při zvýšení teploty zdroje tepla se sálavý výkon zvyšuje na čtvrtou hodnotu jeho teploty. Součásti vedení a konvekce se zvyšují

pouze v přímém poměru s teplotní změnou. Jinými slovy, protože teplota zdroje tepla je zvýšena, mnohem větší procento celkového výkonu energie se přemění na energii záření. [2]

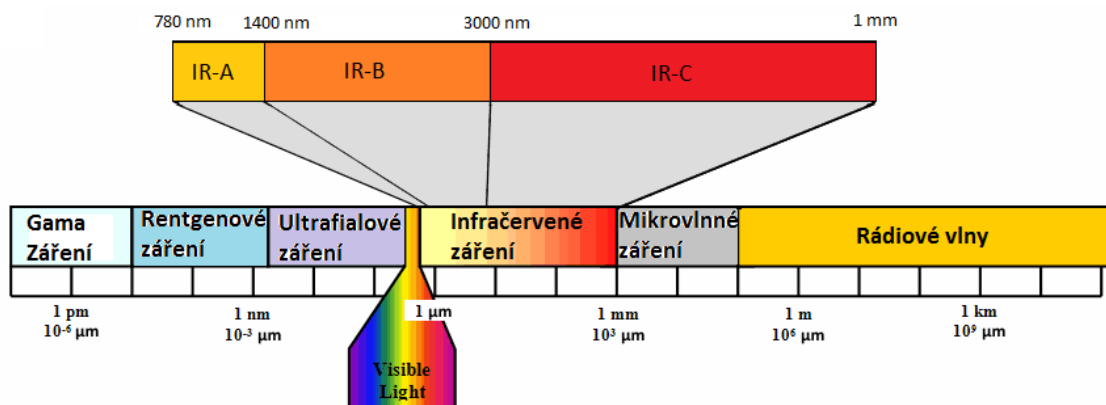
1.2.1 Historie

Jako první objevil infračervený svět na počátku 19. století amatérský astronom známý pro objev uranu v roce 1781 Sir William Herschel. Už dříve byl obeznámen s Newtonovou teorií, že se světlo může oddělit pomocí skleněného hranolu na chromatické složky. Předpokládal, že by barvy mohly samy o sobě vyzařovat různé úrovně tepla, a tak vytvořil experiment, který jeho teorii otestuje. Vzal skleněný hranol a umístil ho na sluneční světlo, aby vytvořil spektrum barev (duha) a změřil teploty různých barev. Použil při tom tři teploměry, kde jeden umístil do jedné barvy a zbylé dva umístil mimo spektrum jako kontrolní teploměry. Postupně když měřil teplotu fialového, zeleného, modrého, oranžového, žlutého a červeného světla, zjistil, že všechny barvy mají větší teplotu než kontrolní teploměr. Pak si všiml, že teplota vzrostla z fialové na červenou část spektra. Po pochopení tohoto vzoru umístil teploměr těsně za červenou část spektra a zjistil, že tahle oblast má největší teplotu ze všech, a tudíž obsahuje nejvíce tepla. Hershel tedy objevil formu světla za červeným světlem, a to vedlo k objevení infračerveného světla. [2]

1.2.2 Rozdělení

Základní rozdělení IR záření je určeno podle velikosti vlnových délek a zahrnuje v celém spektru mnohem větší podíl oproti viditelnému světlu. Nachází se hned za hranicí viditelného světla, a to přesně $\lambda = 780 \text{ nm}$ a před hranicí mikrovlnného záření, které začíná od 1 mm.

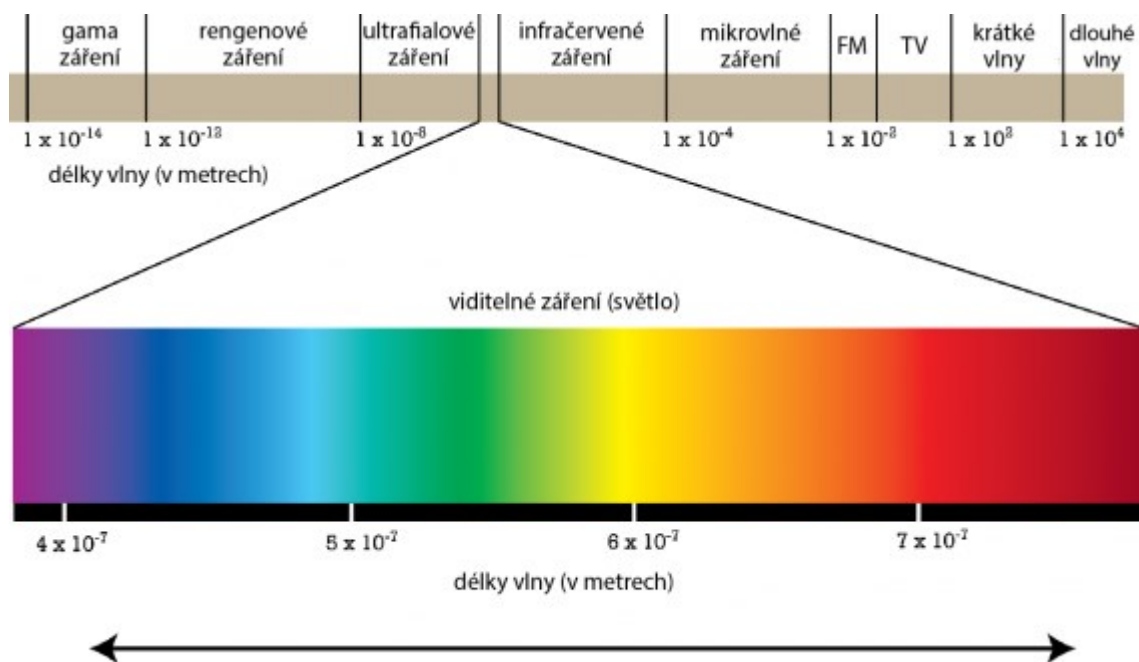
Za viditelným světlem se nachází IR-A, krátkovlnné záření, které nám zabírá rozsah vlnové délky od 780 nm do 1400 nm. Následuje střední oblast IR-B v rozmezí 1400 nm až 3000 nm a poslední je IR-C od 3000 nm až do 10 000 nm. Na obrázku 1.1 vidíme zobrazení celého elektromagnetického spektra s rozdělením všech různých záření a bližším rozdělením IR záření.



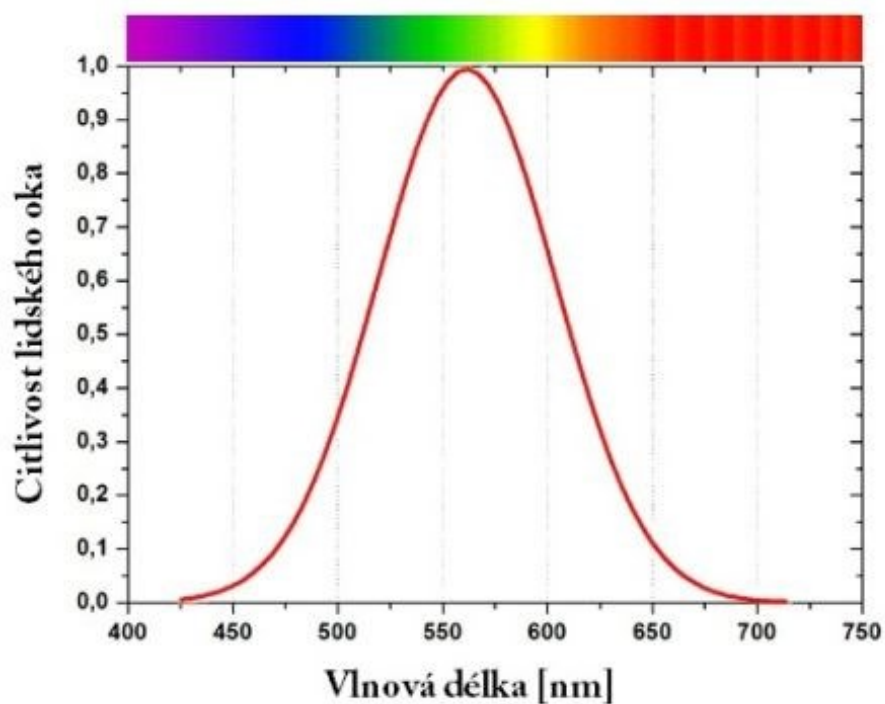
Obrázek 1-2 Dělení elektromagnetického spektra s vyznačeným IR zářením. [2]

1.3 Viditelné záření

Světlo je elektromagnetické záření v určité části elektromagnetického spektra. Viditelné znamená, že je záření pro lidský zrakový orgán přijatelné ve formě obrazu. Obvykle je definované v rozmezí 400-780 nm. V celém spektru se zařazuje mezi infračervené záření a ultrafialové. Hlavním zdrojem viditelného světla na zemi je slunce. Sluneční světlo poskytuje většinu energie, kterou využívají zelené rostliny. Tento proces se nazývá fotosyntéza. Historicky byl dalším důležitým zdrojem světla pro lidi oheň až po petrolejové lampy. Některé druhy zvířat vytvářejí své vlastní světlo, proces se nazývá bioluminiscence. Například světlušky používají světlo k nalezení dalších světlušek. Primární vlastností viditelného světla je intenzita, směr šíření, frekvence vlnových délek a polarizace. Rychlost světla se udává ve vakuu přibližně 300 tis. km/s, je to jedna ze základních konstant přírody. Viditelné světlo, stejně jako ostatní elektromagnetické záření se vždy pohybuje při této rychlosti ve vakuu. To bylo experimentálně zjištěno. Z fyziky označujeme světlo jako elektromagnetické záření jakékoliv vlnové délky, ať už je viditelné nebo není. Stejně jako všechny typy světla se viditelné světlo absorbuje v malých dávkách a zpět světlo vyzařuje. Každá vlnová délka nám ve spektru reprezentuje určitou barvu. To znamená, že když světlo určité vlnové délky zasáhne na sítnici našeho oka, vnímáme barevný pocit a rozlíšíme barvy. Oddělení barev podle vlnových délek pomocí skleněného hranolu se nazývá rozptyl. Dělení začíná od barvy červené(R), oranžové(O), žluté(Y), zelené(G), modré(B) a fialové(V). Proto se viditelná část spektra někdy označuje jako ROY G.BIV. Největší energii má fialová barva, protože má krátké vlnové délky a tím i větší frekvenci. Naopak je tomu u světla červeného. Když všechny vlnové délky viditelného spektra narazí na naše oko v jednu chvíli současně, vnímáme barvu jako bílou. Bílá barva se ve spektru přímo nenachází, není pro ni žádná vlnová délka, ale prakticky to funguje tak, že je to kombinace všech vlnových délek. Černá barva se ve spektru také nevyskytuje přímo, pokud vidíme černou je to způsobeno tím, že máme absenci vlnových délek viditelného spektra. Když budeme v uzavřené místnosti bez světla a vše bude vypadat černě, znamená to, že při pohledu do okolí nejsou žádné vlnové délky viditelného spektra. Spektrum viditelného světla je znázorněno na následujícím obrázku [1.3]. [3,4]



Obrázek 1-3 Rozdělení viditelného záření podle vlnových délek. [3]



Obrázek 1-4 Relativní citlivost oka. [4]

1.4 Ultrafialové záření

V elektromagnetickém spektru se UV záření nachází před viditelným zářením, a to přibližně od 400nm asi do 1 nm. Podle mezinárodního CIE se rozeznávají tři druhy UV záření:

UV-A – rozsah 315 až 400nm

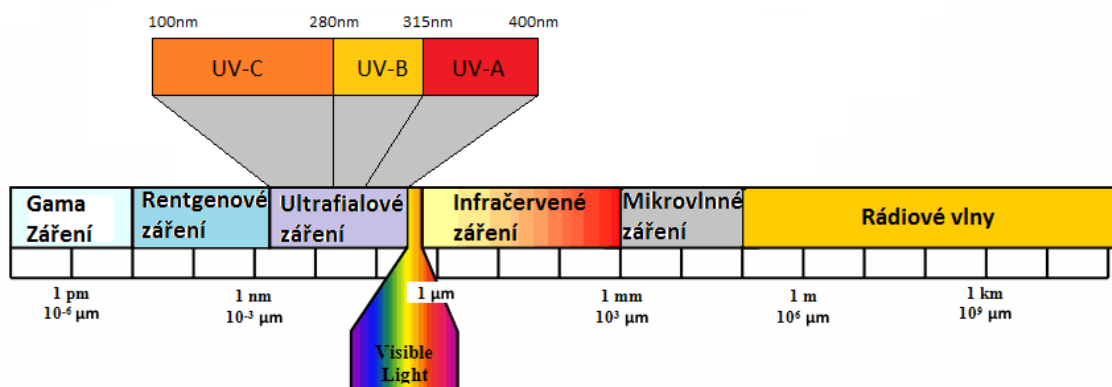
UV-B – rozsah 280 až 315nm

UV-C – rozsah 100 až 280nm

Hlavním zdrojem UV záření je především slunce. Jako umělé světelné zdroje se používají zejména rtuťové výbojky. UV paprsky projdou skrz vodu, křemen, některá skla (fosfátová, draselná), organickým sklem a vzduchem. Pokud není porušená ozonová vrstva, potom velké množství vzduchu v atmosféře UV záření pohlcuje, že v některých oblastech mírného klimatu se UV záření dostane na zem jen za slunečného dne ve vysokých horách. Pokud se vystavujeme intenzivně ozařování kůže UV zářením, mohou nás následovat vážná onemocnění kůže, až rakovina. Působí také na některé materiály, například obrazy, pokud jsou vystavovány vyšším dávkám UV záření, můžou rychleji stárnout a ztrácet svou barevnost a může se narušit jejich mechanická pevnost. Důležité je taky že UV paprsky neprojdou i přes tenké vrstvy kovů a skel, zvláště olovnatým. Proto se používají výbojky, které propouští jen zanedbatelné množství UV záření.

Podle vlnové délky má každé UV záření pro nás své uplatnění. Vlnová délka okolo 366 nm má fotochemické účinky, které využíváme pro urychlení chemických reakcí, jako například fotosyntéza, ionizace plynů, izomerace (přeskupování plynů v molekule) a v polygrafii při různých metodách kopírování. Pak se UV záření používá pro fluorescenční analýzu, pro kterou využíváme hlavně dvě spektra a to 365 nm (Woodovo světlo) a 254 nm, někdy se používá i celé spektrum UV-A. Tahle analýza slouží ve většině v průmyslových odvětvích a zemědělství (k výběru obilí pro setbu, výběr vajec z líhně aj.). Vlnová délka v oblasti 297 nm vyvolává v pokožce fotochemické reakce a rozšiřování cév, a to se projevuje krátkodobým začervenaním pokožky (erytémou), která nemá ochranné zhnědnutí pokožky(pigmentaci). Ideální vlnová délka pro pigmentaci je co do intenzity a délky opálení 340 nm.

UV záření je pro lidi i velmi prospěšné, a to hlavně o vlnové délce 283 nm, které nám podporuje v podkožních buňkách tvorbu vitamínu D, který urychluje ukládání vápníků v kostech a ovlivňuje i další biologické procesy. Proto jej využíváme i k léčení některých chorob, například tuberkulózu, zánět dutin a další. Má však i velice negativní biologické účinky, a to ve spektru okolo 265 nm a 254 nm. Jejím působením vyvolá trvalé změny v mikroorganismech vedoucí buď k jejich zničení nebo alespoň k jejich postupné degradaci. Využívají se například ke sterilizaci vzduchu, kapalin i pevných látek nebo k přímému ničení virů, bakterií apod. Pro takové účely se používá UV-C nízkotlaké rtuťové výbojky, které se vyrábí s příkony 6, 15, 30 a 36 W. Přímé využití je ve zdravotnictví ke sterilizaci operačních sálů, laboratoří a dětských oddělení. V potravinářství se používá k ochraně před plísní v chladírnách, mlýnech a pekárnách a v konzervárnách při plnění obalů. [4,5]



Obrázek 1-5 Dělení elektromagnetického spektra s vyznačeným UV zářením. [2]

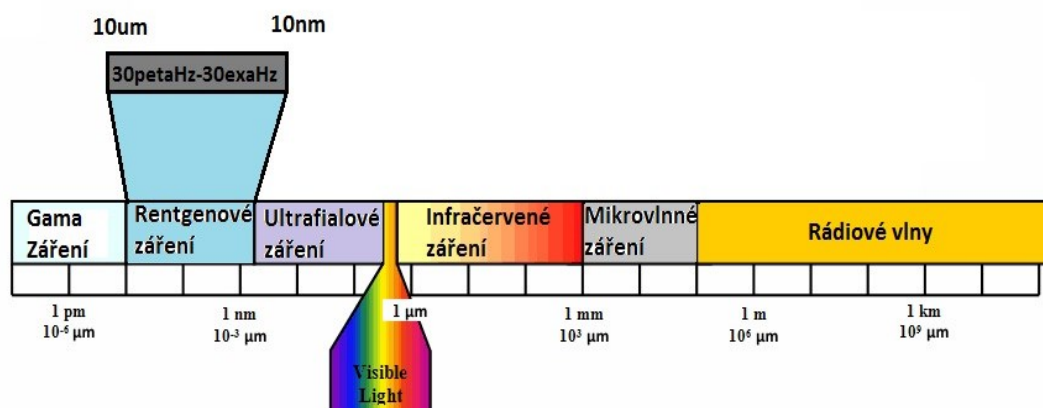
1.5 Rentgenové záření

Rentgenové záření tvoří záření X, což je forma elektromagnetického záření. Většina rentgenových paprsků má vlnovou délku v rozmezí 0,01 nm až 10 nm, což přibližně odpovídá frekvenci v rozmezí 30 petaHz až 30 exaHz a energiím 100 eV až 100 keV. Rentgenové vlnové délky jsou kratší než vlnové délky UV záření a delší než gama záření, jak znázorňuje obrázek [1.5]. Jednotkou vyzařovaného záření je Sieverts (Sv). Na všechny dopadne ročně asi 2 tisíce Sievertů v pozadí záření, které pochází z vesmíru a ze skal na zemi, ale jedná se o velmi malé množství v rozsahu malých dávek.

Ionizující záření se dnes také používá v rentgenových zařízeních, jako je CT (počítačová tomografie) a skenery nukleární medicíny jako je PET (Pozitron Emission Tomography). X-paprsky se nejčastěji používají k pořizování snímků kostí a některých částí uvnitř těla. CT vyšetření, jak bylo výše zmíněno také využívá rentgenového záření a provádějí podrobnější obrázky uvnitř lidského těla, jako jsou například plíce, kosti, krevní cévy a další orgány. Nukleární medicína a PET skenování používají k realizaci malé množství radioaktivního materiálu. To se buď vstříkne přímo do těla nebo jej vdechneme vzájemně se vzduchem nebo ho polkneme v nějakém nápoji. Poté se použije speciální kamera, která detekuje energii z radioaktivního materiálu ve vašem těle. [7]



Obrázek 1-6 Snímek ruky při ozáření rentgenovým zářením. [8]



Obrázek 1-7 Dělení elektromagnetického spektra s rentgenovým zářením. [2]

2 Fotobiologické účinky

2.1 Účinky IR záření

Infračervené záření díky malé energii nám nezpůsobí změny ve struktuře a nespustí fotochemické reakce. Když infračervené záření absorbujeme, tak dochází ke zvýšení teploty na ozářeném místě. K poškození zdraví může dojít kvůli zvýšené teploty tkáně, která se může až popálit, na což je lidský zrakový orgán citlivý. K popálení může dojít především z důvodu, že oko není přirozeně chráněno mrkacím reflexem jako u viditelného světla.

Záření proniká až maximálně 5 mm hluboko. Do hlubších vrstev oka nám tohle záření proniká, kde se pak absorbuje a poškozuje nitrooční strukturu. Částečně se záření pohlcuje komorovou vodou a z malé části také sklivcem, kde se nám přemění na teplo a snadno odvede.

Pokud oko absorbuje dlouhovlnné záření sítnicí, tak dochází k jejímu tepelnému poškození. Pro takové poškození zářením je především důležité, do jaké hloubky záření až proniká. Nejvíce působí na čočku a spojivku jakožto zevnější orgány. Na vlnové délce ovšem také závisí, protože infračervené záření, které je větší než 1,4 μm nepronikne k sítnici a nemůže ji poškodit. Z toho je jasné, že oko se může poškodit jen infračerveným světlem do 1,4 μm . Pokud dojde k velké intenzitě záření, je možné poškození přední části oka (rohovky), při delšímu vystavení světlu se může poškodit čočka a pak i zadní část oka (sítnice). Pronikavé infračervené paprsky jsou označovány s vlnovou délkou od 750 nm - 2500 nm. Tohle záření je vyvoláváno především rozžhavenými skly a kovy. Nejprve se poškodí čočka vlivem jejím kalením a následně odlupováním pouzdra čočky. Sítnice se nám nejvíce poškozuje z důvodu velké absorpce tepla v pigmentových buňkách. Teplo, které je v buňkách se šíří z počátečního ohniska ze žluté skvrny do okolních buněk, kde dochází k jizvení. Už při zvýšení jen o 10 °C více než má naše tělo, dochází k nevratnému odumírání buněk. Vlnové délky infračerveného záření nad 1400 nm jsou absorbovány nejvíce sklivcem a rohovkou. [7]

2.2 Účinky UV záření

Dopad ultrafialového záření na lidské zdraví má různé důsledky. Buď pozitivní nebo negativní. Příliš velké vystavení slunci může být škodlivé, avšak v určité míře i prospěšné. UV záření způsobuje, že tělo produkuje vitamín D, který je pro život velmi důležitý. Takže lidské tělo nutně potřebuje určité UV záření, aby si člověk udržoval dostatečné množství vitamínu D. Na oko má taky určitý vliv. Oko je zapuštěno v anatomii hlavy a dobře chráněno obočím. Tyto úpravy jsou však omezené při ochraně před UV zářením v extrémních podmínkách, jako je na letním slunci nebo při silném odrazu jod sněhu, vody a písku. Reflex mžiku nám minimalizuje pronikání slunečních paprsků do oka, ale tenhle mechanismus je aktivovaný ve větší míře jen jasným viditelným světlem, a nikoliv UV zářením. V zamračeném počasí může být expozice UV záření stále vysoká. Proto je účinnost těchto přirozených obranných prostředků při ochraně před UV poškozením omezena.

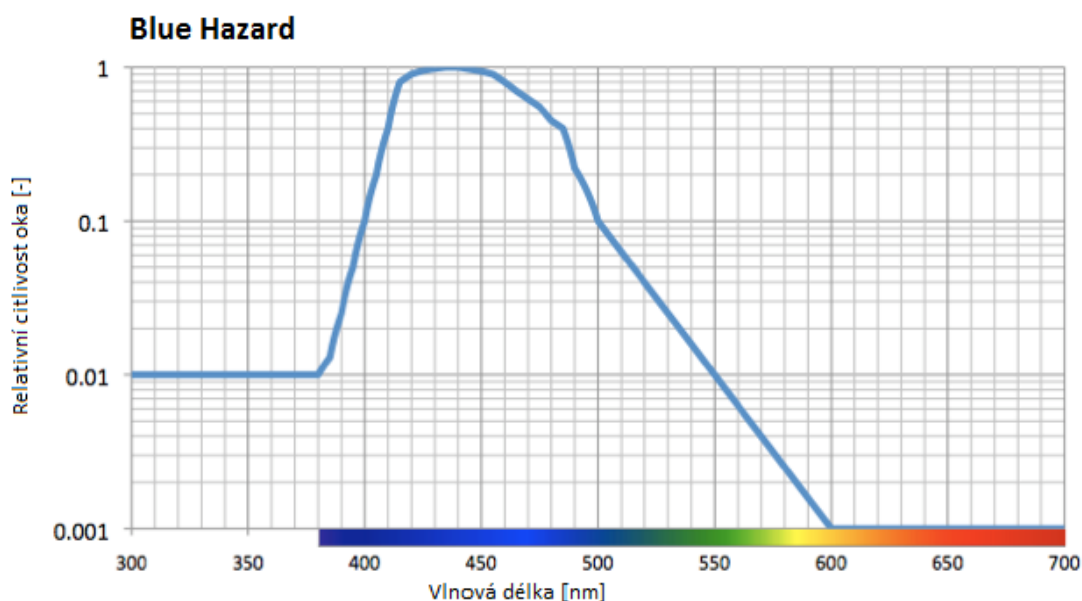
Fotokeratitida a fotokonjunktivitida. Fotokeratitida je zánět rohovky, zatímco fotokonjunktivitida se týká spojivek, kdy záření prochází vnitřkem očních víček a očního svalů. Tyto zánětlivé reakce lze porovnat se spálením slunečního záření velmi citlivých kožních tkání očních bulv a víček a obvykle se objeví během několika hodin po expozici. Tohle poškození může být velice

bolestivé, avšak jsou reverzibilní a zdá se, že nevedou k dlouhodobému poškození očí nebo vidění. Extrémní forma fotokeratitidy je slepotí slepota. Někdy se vyskytují u lyžařů a horolezců, kteří mají extrémní hladiny UV záření kvůli vysokým podmínkám nadmořské výšky a velmi silnému odrazu na zemi. Čerstvý sníh může odrazit až 80 % dopadajícího UV záření. Tyto extrémní úrovně UV zabíjejí vnější buňky oční bulvy, což vede k oslepnutí. Sněhová slepota je velmi bolestivá, když se mrtvé buňky vylučují. Ve většině případů dochází k rychlému růstu nových buněk a obnovení zraku během několika dní. Velmi silná slepota může zahrnovat komplikace, jako jsou chronické podráždění nebo slzení. Nejhlavnější poškození jsou katarakty, které jsou příčinou slepoty ve světě. Bílkoviny v čočce oka odhalují, že se tam hromadí pigmenty, které obklopují čočku, a nakonec vedou k oslepnutí. Katarakty se většinou objevují v různém věku a zdá se, že jsou způsobeny nadměrnou expozicí UVB. Katarakty mohou být chirurgicky odstraněny a umělá čočka nebo jiné prostředky optické korekce mohou obnovit vidění. Podle známé světové zdravotnické organizaci (WHO) každý rok asi 16 milionů lidí na světě trpí slepotou kvůli ztrátě průhlednosti čočky. [7]

2.3 Blue hazard

Jedná se o fotochemické poškození sítnice. Název fotochemická je kvůli tomu, že díky vysokému obsahu energie v přicházejícím světle se na sítnici vyskytují určité chemické reakce. Modré světlo je částí elektromagnetického spektra s nejvyšší energií a stále ještě dosahuje sítnice. UV záření má sice větší energii než světlo modré, ale to je absorbováno čočkou, takže pro tento jev jej nemusíme brát v úvahu. Modré světlo má nejvyšší energii z důvodu krátkých vlnových délek a tím pádem má nejvyšší frekvenci, a následně i energii.

U blue hazardu je třeba sledovat spektrum viditelného světla v rozmezí přibližně 300nm (světlo UV tmavě modrá) do 700 nm (tmavě červená). Nejdůležitější oblast je od 400-500 nm. Vrchol citlivosti oka je přibližně 440nm.



Obrázek 2-1 Relativní citlivost sítnice pro BH, i další barvy než modrá. [9]

Rozmezí od 300 do 700 nm nám pokrývá část UV-B, celou část UV-A a většinu viditelného spektra, dané nebezpečí se však označuje jako nebezpečí "modrého světla". Modré světlo nám pokrývá pouze rozmezí přibližně od 400 do 490 nm. [9]

3 Normativní požadavky na měření nevizuálního záření

3.1 Měření světelných zdrojů a soustav světelných zdrojů

Podle normy fotobiologické bezpečnosti světelných zdrojů a soustav světelných zdrojů.

Obor radiometrie představuje zásadní problém pro měření optického záření a výpočtu hodnot biologických účinků záření. I malé změny vlnových délek mohou radikálně změnit hodnoty účinných spekter. Světelné zdroje, které mají skleněný plášť se nám vyzářený výkon zvětšuje s rostoucí vlnovou délkou. Je tedy důležité důkladně zvážit možné problémy s přesností vážených výsledků. Měření intenzity ozařování se provádí běžně, ale měření záře se tak často neměří kvůli složitosti měření a někdy ani nelze měření provést, kvůli fotobiologickému nebezpečí, protože tenhle typ měření zahrnují zorné pole, které se nám mění podle toho, o jaký typ nebezpečí se jedná. Co se týče podmínek, tak musí být uvedený jako součást vyhodnocení podle hlediska ozáření a následného zařazení do skupiny nebezpečí.

3.2 Stárnutí světelných zdrojů (zahoření)

Při měření, abychom dostali nějaký stálý výkon během procesu je důležité nechat světelné zdroje jakéhokoliv typu zahořet, což znamená aby, jsme je nechali zapnuté nějakou dobu před měřením (zahřátí apod.). Při počátečním používání můžeme zjistit, jak se nám mění výstupní charakteristika zdroje podle parametru, jak se nám blíží k rovnovážnému stavu. Kdyby se měření provedlo na nezahořeném zdroji, můžou být odchylky mezi částmi jednoho měření nebo větším počtem měření podstatné. Časem se výstupní výkon zdroje snižuje, proto by doba zahoření měla být dostatečně krátká, aby vedla ke konzervativnímu hodnocení nebezpečí. Konkrétní zahoření zdrojů se provádí tak jak je určeno v příslušné IEC normě pro světelné zdroje. Pro žárovky je doba zahoření v řadu 1 procenta udané doby životnosti. Ale pro speciální světelné zdroje je zahoření odlišné jako například pro světelné zdroje v soláriích.

3.3 Zkušební prostředí

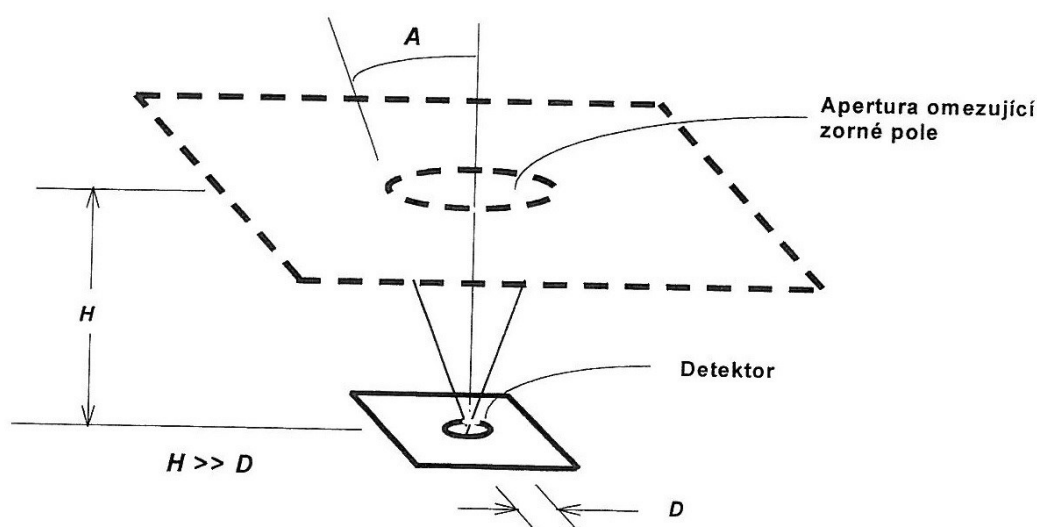
Aby nebylo ovlivněno přesné měření světelných zdrojů, vyžaduje se kontrola prostředí pro měření. Samozřejmě provoz světelných zdrojů i daného měřicího vybavení je ovlivněn vlivy prostředí. Měření nám může ovlivnit tvorba ozonu v měřicí oblasti a mít tak negativní vliv na bezpečnost a výsledky měření. V IEC normách jsou uvedeny přesné podmínky pro měření světelných zdrojů, v příslušných národních normách nebo doporučeních výrobce. Další negativní účinek, který nám výrazně ovlivňuje měření je teplota okolního prostředí, například zářivek. Měření by mělo být prováděno při teplotě okolního prostředí podle příslušné IEC normy pro světelné zdroje. Některé zdroje světla a jejich charakteristiky jsou ovlivňovány průvanem. Nejvíce by měl být omezen proud vzduchu nezpůsobený přirozenou konvekcí zdroje, pro zachování bezpečnostních podmínek (produkci ozonu). Pokud má světelný zdroj bezpečnostní blokování, které by mělo udržet proudění vzduchu, je potřeba provést měření i při proudícím vzduchu.

Další podmínkou, kterou je nutno dodržet je, aby nám záření z vnějších zdrojů neovlivňovalo naměřené hodnoty. K tomu se ve většině případů používají stínidla s černým povrchem. Avšak na pohled černé povrchy nám mohou odrazit infračervené a ultrafialové záření. Nakonec je i nutno pro měření infračerveného záření uvážit záření ze zahřátých okolních stínidel, protože tyhle stínidla nám vyzařují pod velkým vstupním úhlem a ovlivňují nám měření.

Pro provoz zkoušeného světelného zdroje by měla odpovídat příslušná IEC norma, pokud pro měřený typ světelného zdroje neexistuje žádná norma, používají se provozní doporučení od výrobce světelného zdroje pro daný typ. Taktéž je potřeba dodržet daný napájecí zdroj pro provoz světelného zdroje.

3.4 Měření intenzity ozařování

Ideální nástroj pro stanovení širokopásmové a spektrální intenzity ozařování je plochý detektor o průměru D , který je dostatečně velký k dosažení požadovaného poměru signálu k šumu, a je schopen z rotačního kužele přijímat záření, když je jeho osa přímo kolmá na rovinu plochy detektoru. Zároveň má úhlovou odezvu, která se mění s kosinem úhlu od kolmice k ploše detektoru. Má konstantní spektrální odezvu pro každou polohu v určitém rozsahu daných vlnových délek od λ_1 až λ_2 .



Obrázek 3-1 Měření intenzity ozařování. [10]

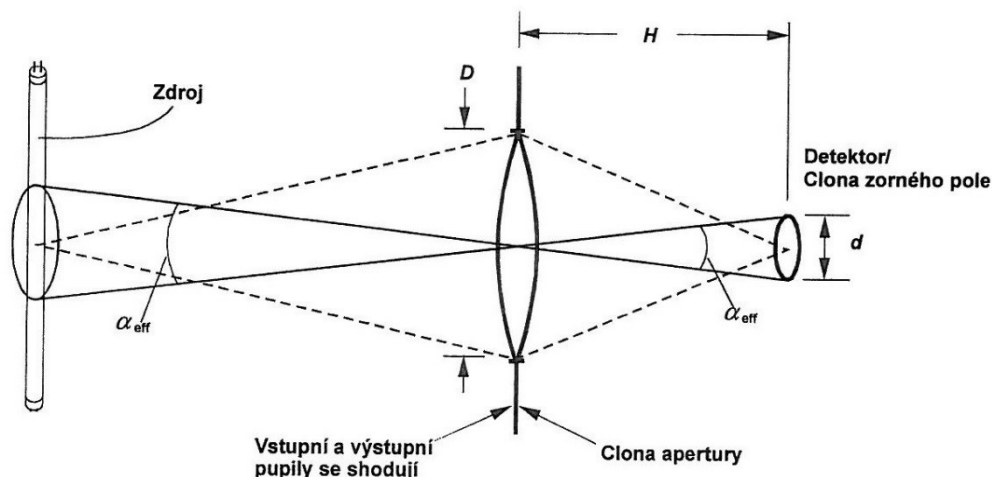
3.5 Měření záře

3.5.1 Standardní metoda

Podle normy ČSN 62471

Měření záře se provádí podle optického systému podle obrázku 1.8, který je uveden pod textem. Zobrazuje nám zdroj záření na detektor. Pro měření se používá kruhová clona zorného pole, aby se zajistilo dané úhlové rozpětí zorného pole, které se používá k průměrování. Vstupní pupila (aperturní clona), která se chová jako apertura, která se používá k průměrování u měření intenzity ozařování a plní určité požadavky podle normy. Pro malé úhly je vztah mezi průměrem detektoru a ohniskovou vzdáleností zobrazovacího zařízení dán vztahem $d = \alpha H$. Průměr clony apertury je minimálně 7 mm průměru zornice pro impulzní zdroje stejně jako u měření intenzity ozařování. Z biofyzikálního hlediska může být zornice menší, avšak pohyby hlavy a oka dovolují použití této větší apertury. Stejně jako u měření intenzity ozařování může průměr clony apertur přesáhnout 7 mm, má-li intenzita ozařování dostatečně rovnoměrné rozložení.

Přístroj musí být kalibrován tak, aby ukazoval absolutní hodnoty dopadajícího zářivého výkonu na jednotku plochy a na jednotku vstupního úhlu přes zorné pole přístroje.



Obrázek 3-2 Příklad zobrazovacího zařízení pro měření záře. [10]

3.5.2 Alternativní metoda

Měření záře může být považováno jako měření intenzity ozáření při daném zorném poli, kdy je naměřená hodnota intenzity ozáření vydělena zorným polem, čímž získáme hodnotu záře. Alternativou k výše uvedenému měření je uspořádání vyžadující kruhové clony zorného pole, umístěného u zdroje, které nám umožňuje měření záře podle obr 1.9. Rozměry clony zorného pole F a vzdálenost clony zorného pole od clony apertury r definují zorné pole jako:

$$\gamma = \frac{F}{r}$$

Při tomhle uspořádání měření můžeme předpokládat, že clona zorného pole může být umístěna dostatečně blízko ke zdánlivému zdroji a může nám tedy vytvořit požadované zorné pole. Vztah mezi změřenou intenzitou ozáření E a září zdroje L pro směr detekce kolmý k ploše pro malé úhly je:

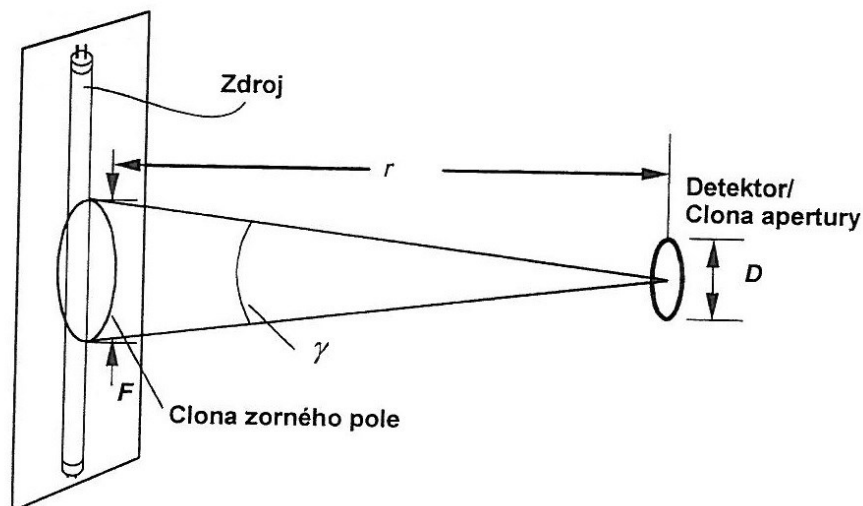
$$E = L\Omega$$

Ω nám reprezentuje úhel ve steradiánech, vyjadřující zorné pole, použité při měření, to znamená prostorový úhel odpovídajícímu rovinnému úhlu γ , vyjádřeného v radiánech. Pro malé úhly nám platí vztah mezi rovinným úhlem γ a prostorovým úhlem Ω .

$$\Omega = \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4}$$

Když použijeme proměnnou uvedenou v obr 3.3, získáme pro intenzitu ozařování tenhle vzorec:

$$E = L \cdot \frac{\pi \cdot \gamma^2}{4} = L \cdot \frac{\pi \cdot F^2}{4 \cdot r^2}$$



Obrázek 3-3 Alternativní technika měření záře. [10]

Pokud použijeme naměřené hodnoty z intenzity ozařování k výpočtu hodnot záře, které následně porovnáváme s daným nebezpečím, musí být průměr clony zorného pole F zvolen, aby nám platilo:

$$\gamma = \alpha_{eef}$$

3.5.3 Měření velikosti zdroje

Pokud chceme stanovit úhel α (úhlová šířka zdroje), potřebujeme určit 50 % bodů vyzařování zdroje. U běžnějších metod, jako je použití fotografie nebo kamery s polovodičovým snímačem, se musí ověřit, že spektrální složení je natolik rovnoměrné, aby nám dovolilo použít viditelné záření místo infračerveného záření. Určité změny ve spektru zdroje mohou vést k různým velikostem v různých spektrálních oblastech.

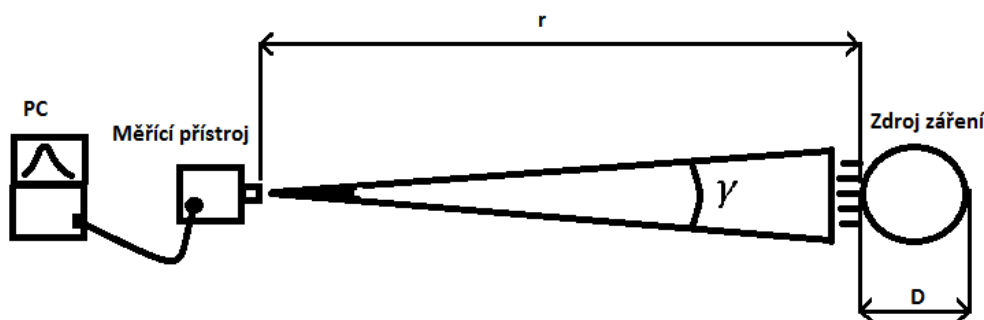
3.5.4 Výpočty

Pro výpočet hodnot nebezpečí zdroje se provádí vážením spektrálního složení příslušnou funkcí a výpočtem celkové vážené energie. Pro zajištění opakovatelnosti výpočtu se doporučuje, aby se interpolace nebo součty prováděly po 1 nanometru pro určité, spektra do 400 nm. Celkové vážení a součty se potom počítá po těchto jednonanometrových částech. Pro spektra nad 400 nm se doporučuje použít větší krok, a to o velikosti 5 nm.

4 Metodika měření nevizuálního záření

4.1 Metoda měření

Metoda měření je velice snadná, nejprve si umístíme světelný zdroj na nějakou pozici a ve vzdálenosti kterou si sami zvolíme podle oka, aby to nebylo moc daleko nebo blízko, si v přímém směru umístíme měřicí přístroj, který nám měří po 5 nm hodnoty spektra od 300 nm do 1000 nm. Podmínkou v místnosti je úplná tma a černé prostředí, aby se došlo jen k zanedbatelným odrazům od stěn a stropu. Přístroj je připojen k PC přes kabel, takže můžeme v pomoci daného programu vykreslit spektra každého svítidla.



Obrázek 4-1 Použitá metoda měření pro všechny svítidla.

4.2 Vyhodnocování nebezpečí podle normy ČSN 62471

Meze ozáření vyjadřují takové podmínky ozáření, u některých se očekává, že na většinu osob nebudou mít, ani při opakovaném ozáření, negativní zdravotní účinky. Nicméně tyto hodnoty nelze použít pro osoby s neobvykle vysokou citlivostí na světlo ani pro osoby vystavené fotosenzitizačním činidlům, které takové osoby činí náchylnější nežádoucím účinkům způsobeným optickým zářením. Obecně jsou takovíto jedinci více náchylní k nežádoucím účinkům způsobeným optickým zářením v porovnání s osobami, které nemají neobvykle vysokou citlivost na světlo. Náchylnost jedinců citlivých na světlo se velice liší, a proto není možné nastavit meze ozáření tak, aby vyhovovaly i těmto jedincům.

Meze ozáření se týkají světelných zdrojů s trvalým vyzařováním, kde doba trvání vyzařování není kratší než 0,01 ms a není delší než 8 hodin. Tyto meze by měly být použity jako referenční při řízení ozáření, avšak nelze je chápat jako přesné hraniční hodnoty mezi bezpečnou a nebezpečnou oblastí.

Pro záření v rozsahu vlnových délek od 380 nm do 1400 nm je ozářená plocha sítnice důležitým prvkem pro stanovení mezí ozáření jak pro nebezpečí způsobené modrým světlem, tak i pro nebezpečí tepelného poškození sítnice. Jelikož rohovka a čočka zaostřují zdánlivý zdroj na sítnici, je nejlepší způsobem, jak popsat ozářenou oblast, použití úhlového rozpětí zdánlivého zdroje. Vzhledem k fyzickým omezením oka je nejmenší obraz, který se může vytvořit na sítnici oka v klidu, omezen na nejmenší hodnotu, a to i pro bodové zdroje. Při měření záření, vyzářeného ze zdánlivých bodových

zdrojů, buď impulzních nebo trvale vyzařujících s vysokou zářivostí, jež se vztahují k tepelným omezením ozáření sítnice při 0,25 sekundové době ozáření (prodleva mrkacího reflexu).

Tab 4.1 - Meze vyzařování pro skupiny nebezpečí u trvale vyzařujících zdrojů

Nebezpečí	Účinné spektrum	Značka	Meze vyzařování			Jednotka
			Vyjmuté zdroje	Nízké nebezpečí	Střední nebezpečí	
Aktinické UV	$S_{UV}(\lambda)$	E_S	0,001	0,003	0,03	$W \cdot m^{-2}$
Blízké UV		E_{UVA}	10	33	100	$W \cdot m^{-2}$
Modré světlo	$B(\lambda)$	L_B	100	10 000	4 000 000	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Modré světlo, malý zdroj	$B(\lambda)$	E_B	1	1	400	$W \cdot m^{-2}$
Tepelné poškození sítnice	$R(\lambda)$	L_R	28 000	28 000	71 000	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Tepelné poškození sítnice, slabý vizuální vjem	$R(\lambda)$	L_{IR}	6 000	6 000	6 000	$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1}$
Ozáření IR zářením, oko		E_{IR}	100	570	3 200	$W \cdot m^{-2}$

4.3 Spektrální váhové funkce

4.3.1 Spektrální váhová funkce pro aktinické nebezpečí pro oko a pokožku

Meze pro ozáření ultrafialovým zářením, dopadajícím na nechráněnou pokožku nebo nechráněný zrak se vztahují na ozáření v průběhu osmihodinového intervalu. Nepřerušené ozáření trvající déle, než osm hodin v jednom dni se nemusí uvažovat.

Aby se zajistila ochrana zraku nebo pokožky před poraněním v důsledku ozáření ultrafialovým zářením, jež je produkováno širokopásmovým zdrojem, nesmí efektivní integrovaná spektrální intenzita ozařování E_S světelného toku zdroje překročit úroveň definovanou vzorcem:

$$E_S = \sum_{350}^{400} E_{1\lambda}(\lambda, t) \cdot S_{uv}(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 30$$

$E_{1\lambda}(\lambda, t)$ je spektrální intenzita ozařování

$S_{uv}(\lambda)$ aktinická váhová funkce pro ultrafialové záření

$\Delta\lambda$ šířka pásma v nm,

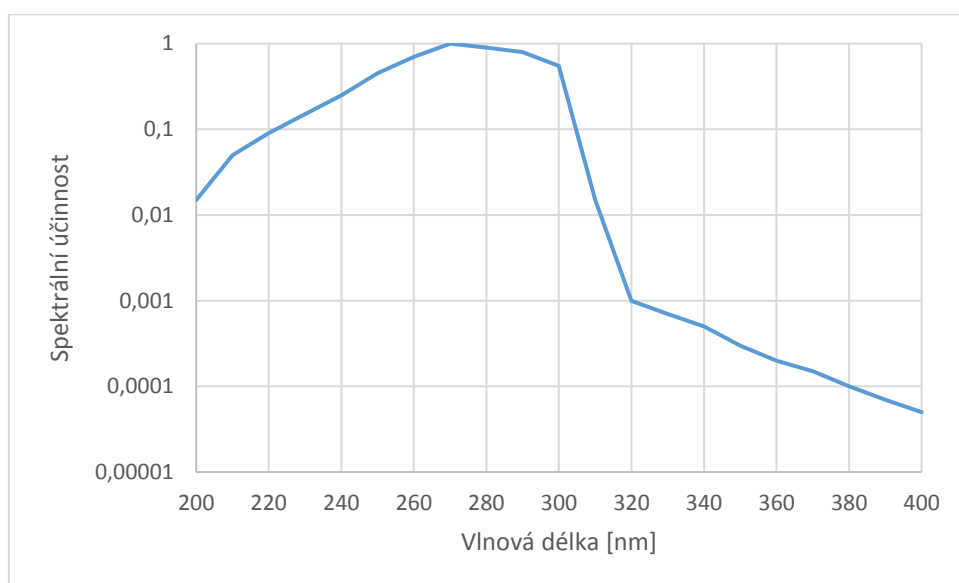
t doba trvání ozáření v sekundách

Graf aktinické váhové funkce $S_{UV}(\lambda)$ je uveden na obrázku 4.2. Jelikož jsou hodnoty v rozsahu mnoha řádů, je potřeba mít na ose logaritmické měřítko. Spektrální hodnoty jsou podle normy ČSN EN 62471. Přípustná doba ozáření nechráněného lidského oka nebo pokožky ultrafialovým zářením se vypočte pomocí vzorce:

$$t_{max} = \frac{30}{E_{s1}}$$

t_{max} je maximální přípustná doba ozáření v sekundách,

E_s efektivní intenzita ozáření ultrafialovým zářením ve $W \cdot m^{-2}$.



Obr 4.2 Spektrální váhová funkce pro aktinické nebezpečí pro oko a pokožku $S_{UV}(\lambda)$

4.3.2 Spektrální váhové funkce nebezpečí pro sítnici

Aby se zabránilo fotochemickému poranění v důsledku chronického ozáření modrým světlem, integrovaná spektrální zář světelného zdroje vážená funkcí nebezpečí modrého světla $B(\lambda)$, to znamená vážená zář modrého světla L_B , nesmí překročit úroveň určené rovnice:

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100$$

Kde je:

$L_{\lambda}(\lambda, t)$ je spektrální intenzita ozařování ve $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$

$B(\lambda)$ váhová funkce pro nebezpečí modrého světla,

$\Delta\lambda$ šířka pásma v nm,

t doba trvání ozáření v sekundách

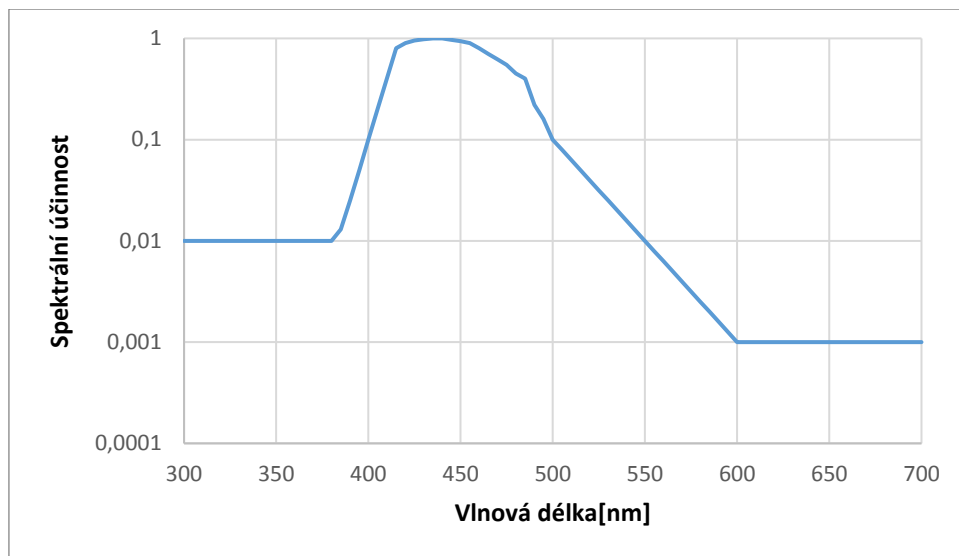
Pro váženou zář zdroje L_B , překračující $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ se maximální přípustná doba ozáření t_{\max} vypočte podle vzorce

$$t_{\max} = \frac{10^6}{L_B}$$

t_{\max} je maximální povolená doba ozáření v sekundách

L_B vážená zář modrého světla

Hodnoty spektrální váhové funkce modrého světla $B(\lambda)$ jsou uvedeny na obrázku 4.2.



Obr 4.2 Spektrální váhová funkce pro nebezpečí modrého světla $B(\lambda)$

Aby se zajistila ochrana před tepelným poraněním sítnice, nesmí překročit integrovaná spektrální zář světelného zdroje L_λ , vážená funkcí nebezpečí popálení $R(\lambda)$ z grafu 4.3, vážení zář nebezpečí popálení určuje vzorec:

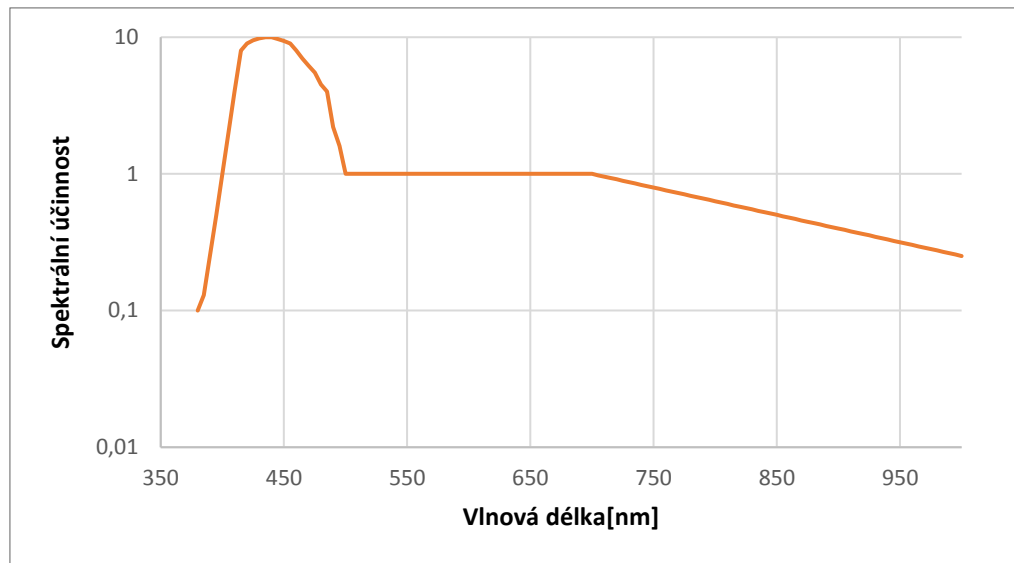
$$L_R = \sum_{380}^{1000} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{50000}{\alpha \cdot t^{0,25}}$$

L_λ je spektrální zář,

$R(\lambda)$ váhová funkce pro nebezpečí popálení sítnice,

$\Delta\lambda$ šířka pásma v nm,

α úhlové rozpětí v radiánech (při výpočtu neuvažujeme z důvodu měření spektra v přímém směru).



Obr 4.3 Spektrální váhová funkce pro nebezpečí popálení sítnice $R(\lambda)$

5 Měření a vyhodnocení biologických účinků zářiče

5.1 Měření bodového zářiče SP-26UV18

Tab 5.1 - Parametry daného zářiče

Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Příkon
24 V	118 mA	2,8 W

Bodové světlo se používá pro přímé nasvícení vzdálenějších objektů nebo kódů. Dodává se v různých vlnových délkách a s různými úhly vyzařování.

Světlo jsem vyhodnocoval na nebezpečí v UV oblasti záření na aktinické UV pro pokožku a oko ze vzdálenosti 97,5 cm v přímém směru k měřicímu zařízení.

Spektrum světla bylo měřeno pro UV oblast po kroku 5 nm. Vyhodnocování bylo provedeno na ozáření v rozmezí 350 až 400 nm podle vztahu:

$$E_{s1} = \sum_{350}^{400} E_{1\lambda}(\lambda, t) \cdot S_{uv}(\lambda) \cdot \Delta\lambda$$

Konečná hodnota vyšla $E_{s1} = 0,013 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Díky tomu, že horní mez dosahuje u středního nebezpečí hodnoty 0,03 tak nám měřené světlo spadá do skupiny se středním nebezpečím. Dále byla vypočtena doba ozáření podle normy ČSN EN 62 471 a vztahu: $t_{max} = \frac{30}{E_{s1}}$. A vyšla 2310 s, což je doba, do které vyzářený zdroj nezpůsobí žádné poškození pokožky a oka svým zářením.

$E_{1\lambda}(\lambda, t)$ je spektrální intenzita ozařování

$S_{uv}(\lambda)$ aktinická váhová funkce pro ultrafialové záření

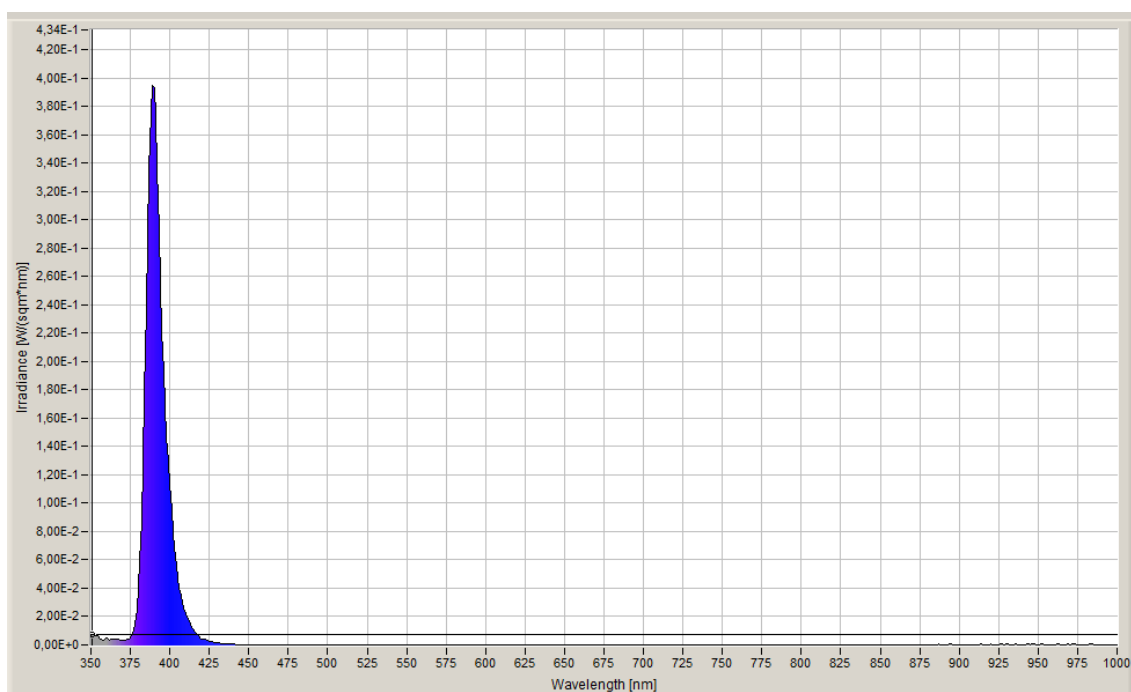
$\Delta\lambda$ šířka pásma v nm,

t doba trvání ozáření v sekundách



Obrázek 5-1 Ukázka bodového zářiče SP26R18.[11]

Vzhledově bodový zářič vypadá stejně jako SP26UV18, SP26W10, SP26W18



Obr. 5.1 Spektrum bodového světla SP26UV18

5.2 Měření bodového zářiče SP-26IR18

Tab 5.2 - Parametry daného zářiče

Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Příkon
24 V	118 mA	2,8 W

Bodové světlo se používá pro přímé nasvícení vzdálenějších objektů nebo kódů. Dodává se v různých vlnových délkách a s různými úhly vyzařování.

Světlo jsem vyhodnocoval na nebezpečí v IR a viditelné oblasti záření na tepelné poškození sítnice ze vzdálenosti 97,5 cm v přímém směru k měřicímu zařízení.

Spektrum světla bylo měřeno pro IR oblast po kroku 5 nm. Vyhodnocování bylo provedeno na ozáření v rozmezí 380 až 1000 nm podle vztahu:

$$L_R = \sum_{380}^{1000} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{50000}{\alpha \cdot t^{0,25}}$$

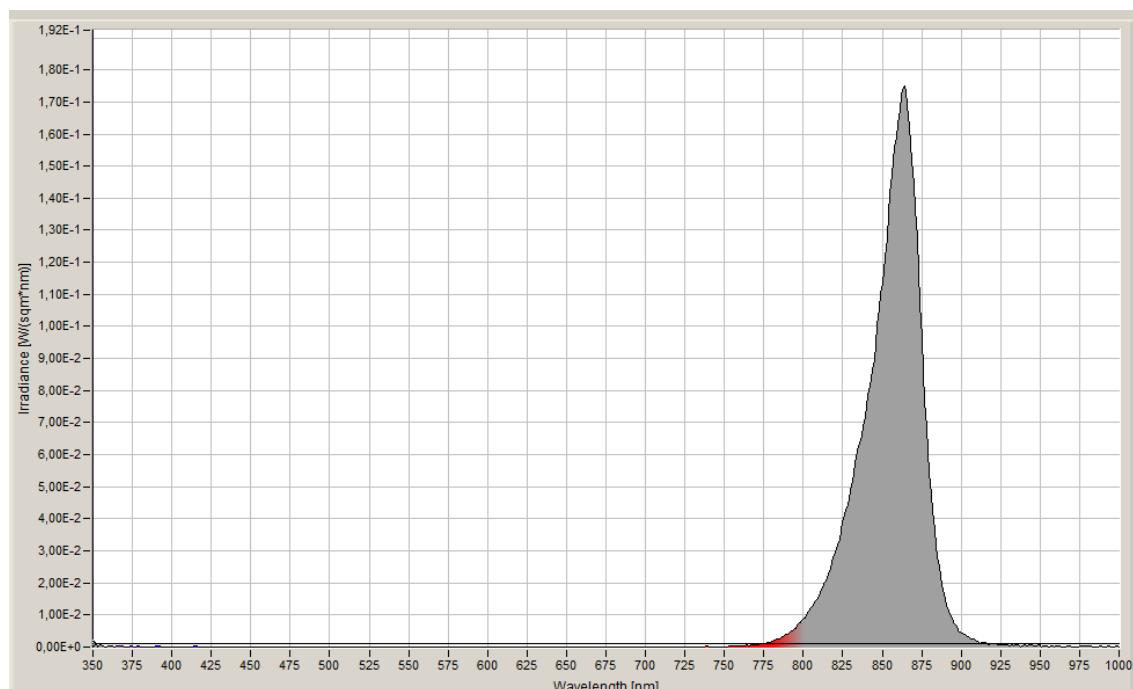
L_λ je spektrální zář,

$R(\lambda)$ váhová funkce pro nebezpečí popálení sítnice,

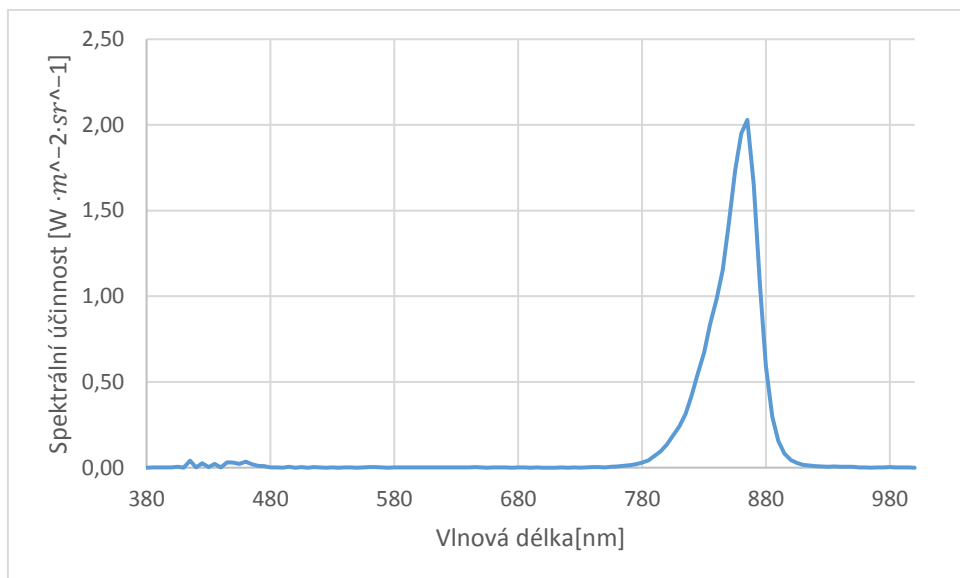
$\Delta\lambda$ šířka pásma v nm,

α úhlové rozpětí v radiánech (při výpočtu neuvažujeme z důvodu měření spektra v přímém směru).

Hodnota nebezpečí nám vyšla $L_R = 6947 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. Maximální doba ozáření podle vzorce $t_{max} = \frac{1000000}{L_R}$ nám vyšla 143,9 s.



Obr. 5.2 Spektrum bodového zářiče SP26IR18



Obr. 5.3 Spektrum po vynásobení váhovou funkcí pro nebezpečí popálení sítnice.

5.3 Měření pruhového zářiče LL-60IR50

Jedná se o univerzální světlo, které je určeno k osvětlení většiny povrchů. Intenzita osvětlení je možná regulovat univerzálním kontrolorem CM-01 Mini.

Tab 5.3 - Parametry daného zářiče

Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Příkon
24 V	60 mA	1,5 W

Světlo jsem vyhodnocoval na nebezpečí v IR a viditelné oblasti záření na tepelné poškození sítnice ze vzdálenosti 99,5 cm v přímém směru k měřicímu zařízení.

Spektrum světla bylo měřeno pro IR oblast po kroku 5 nm. Vyhodnocování bylo provedeno na ozáření v rozmezí 380 až 1000 nm podle vztahu:

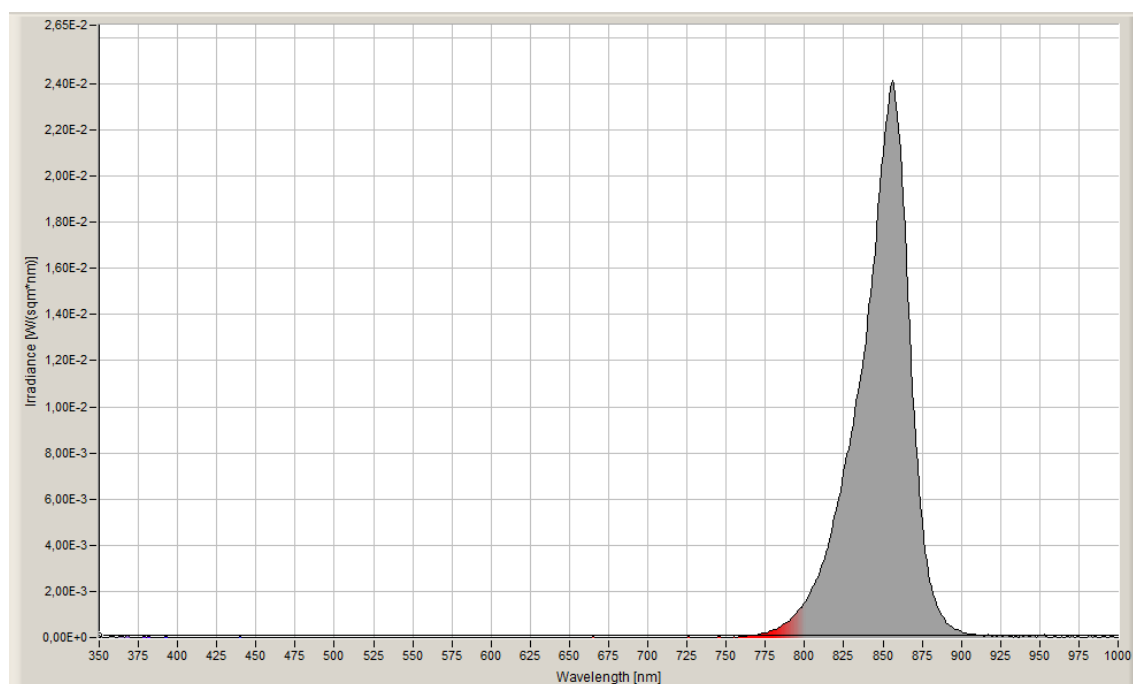
$$L_R = \sum_{380}^{1000} L_\lambda \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{50000}{\alpha \cdot t^{0,25}}$$

Hodnota nebezpečí nám vyšla $L_R = 3199 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Maximální doba ozáření podle vzorce $t_{max} = \frac{1000000}{L_R}$ nám vyšla 312,6 s.



Obrázek 5-2 Ukázka pruhového zářiče LL60IR50.[11]

Vzhledově bodový zářič vypadá stejně jako LL120IR50, LL130IR50, LL60W120, LL120W120.



Obr. 5.4 Spektrum bodového zářiče LL60IR50

5.4 Měření pruhového zářiče LL-120IR50

Tab 5.3 - Parametry daného zářiče

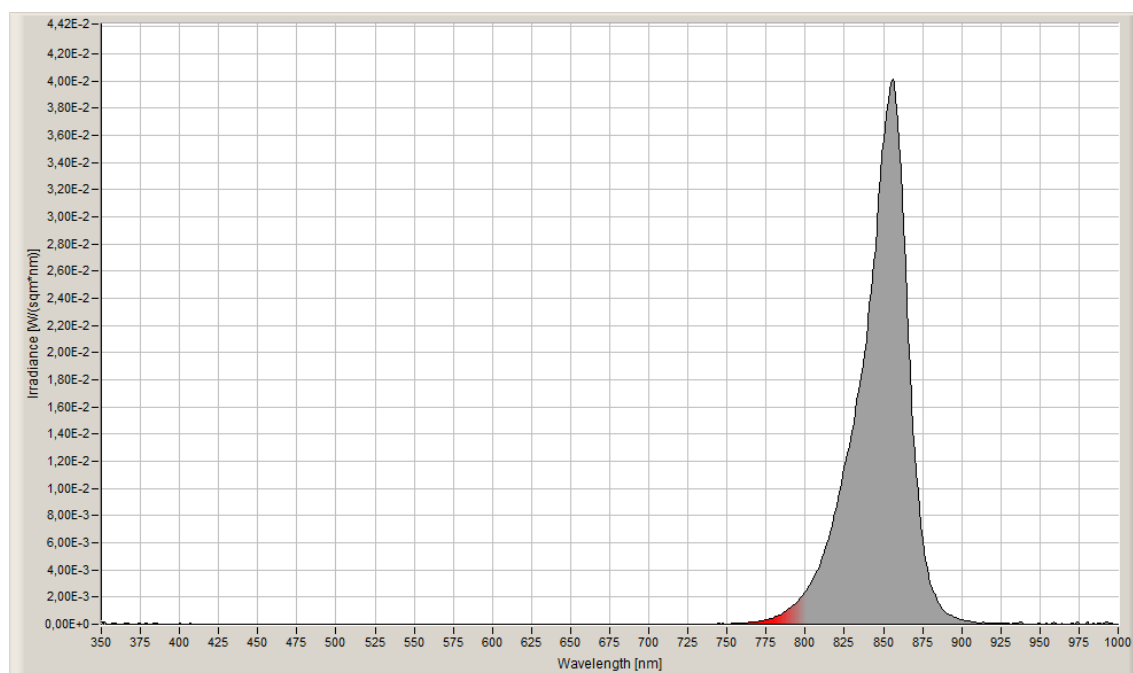
Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Příkon
24 V	150 mA	3,6 W

Světlo jsem vyhodnocoval na nebezpečí v IR a viditelné oblasti záření na tepelné poškození sítnice ze vzdálenosti 105,5 cm v přímém směru k měřicímu zařízení.

Spektrum světla bylo měřeno pro IR oblast po kroku 5 nm. Vyhodnocování bylo provedeno na ozáření v rozmezí 380 až 1000 nm podle vztahu:

$$L_R = \sum_{380}^{1000} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{50000}{\alpha \cdot t^{0,25}}$$

Hodnota nebezpečí nám vyšla $L_R = 2853 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Maximální doba ozáření podle vzorce $t_{max} = \frac{1000000}{L_R}$ nám vyšla 350 s.



Obr. 5.4 Spektrum pruhového zářiče LL120IR50 v IR oblasti.

5.5 Měření High power zářiče LL-130IR50

Světla jsou určena pro aplikace, které jsou náročné na intenzivní vysoké osvětlení. Liniová světla jsou sestavena ze 2 řad LED diod při zachování kompaktních rozměrů. Májí homogenní světelné pole a jsou vhodné pro universální možnosti montáže.

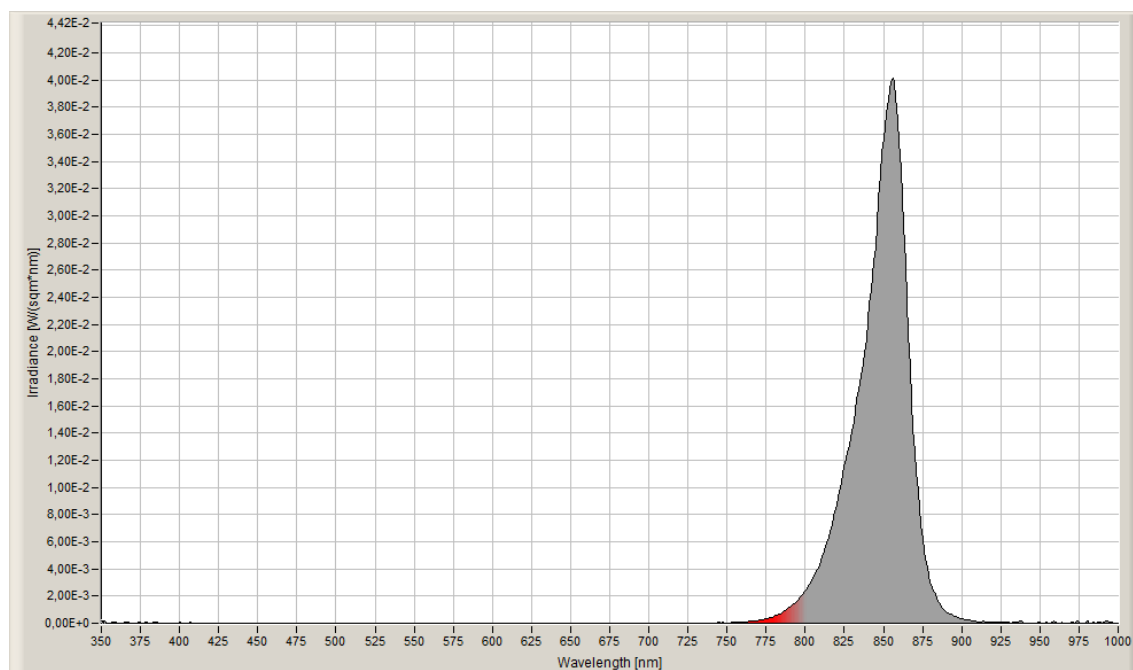
Tab 5.5 - Parametry daného zářiče

Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Příkon
24 V	285 mA	6,8 W

Spektrum světla bylo měřeno pro IR oblast po kroku 5 nm. Vyhodnocování bylo provedeno na ozáření v rozmezí 700 až 1000 nm ze vzdálenosti 1 m podle vztahu:

$$L_R = \sum_{380}^{1000} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq \frac{50000}{\alpha \cdot t^{0,25}}$$

Hodnota nebezpečí nám vyšla $L_R = 6314 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Maximální doba ozáření podle vzorce $t_{max} = \frac{1000000}{L_R}$ nám vyšla 158 s.



Obr. 5.5 Spektrum pruhového zářiče LL130IR50 v IR oblasti.

5.6 Měření bodového zářiče SP26W18

Tab 5.6 - Parametry daného zářiče

Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Příkon
24 V	122 mA	2,9 W

Bodové světlo se používá pro přímé nasvícení vzdálenějších objektů nebo kódů. Dodává se v různých vlnových délkách a s různými úhly vyzařování.

Spektrum světla bylo měřeno pro viditelnou oblast po kroku 5 nm. Vyhodnocování bylo provedeno na ozáření modrého světla ze vzdálenosti 97,5cm v rozmezí 380 až 700 nm podle vztahu:

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100$$

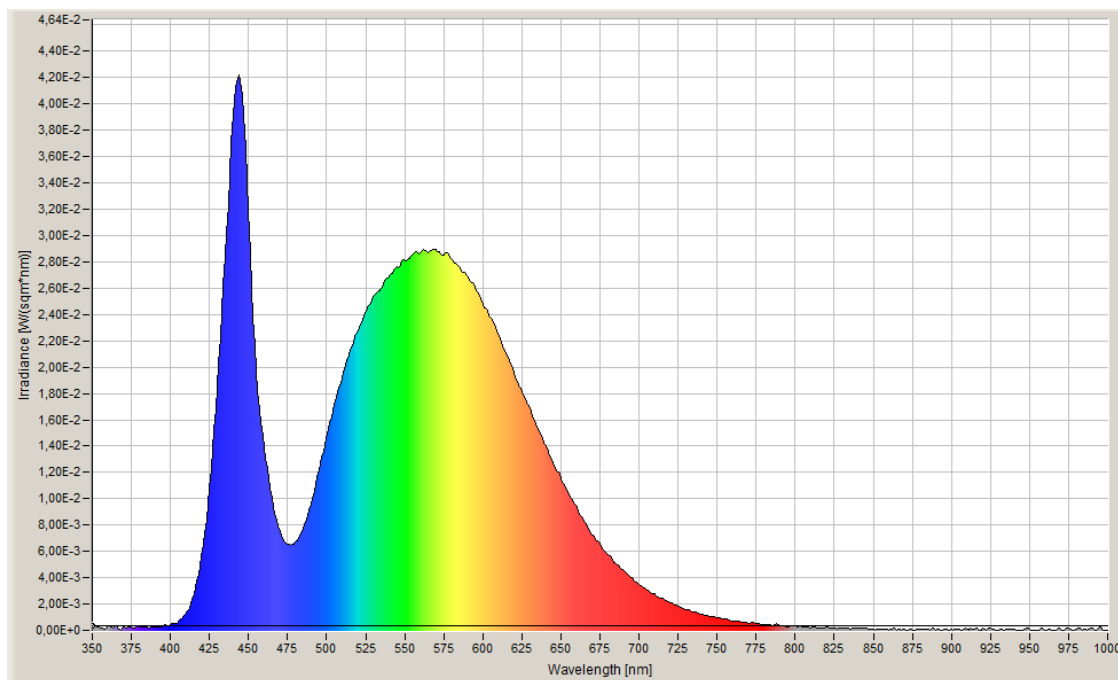
Hodnota nebezpečí nám vyšla $L_R = 2030 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Maximální doba ozáření podle vzorce $t_{max} = \frac{1000000}{L_B}$ nám vyšla 492 s. Světlo tedy řadíme do kategorie nízkého nebezpečí podle normy ČSN 62471.

L_{λ} je spektrální intenzita ozařování ve $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$

$B(\lambda)$ váhová funkce pro nebezpečí modrého světla,

$\Delta\lambda$ šířka pásma v nm,

t doba trvání ozáření v sekundách



Obr. 5.6 Spektrum bodového zářiče SP26W18 ve viditelné oblasti.

5.7 Měření bodového zářiče SP26W10

Tab 5.7 - Parametry daného zářiče

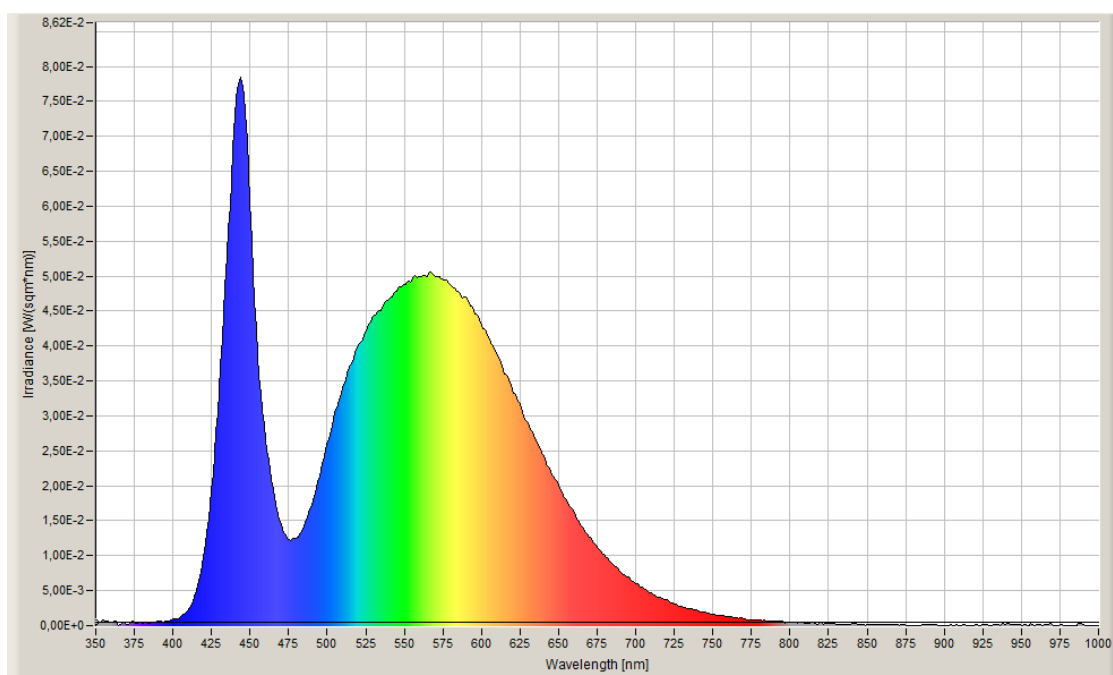
Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Příkon
24 V	122 mA	2,9 W

Bodové světlo se používá pro přímé nasvícení vzdálenějších objektů nebo kódů. Dodává se v různých vlnových délkách a s různými úhly vyzařování.

Spektrum světla bylo měřeno pro viditelnou oblast po kroku 5 nm. Vyhodnocování bylo provedeno na ozáření modrého světla ze vzdálenosti 97,5cm v rozmezí 380 až 700 nm podle vztahu:

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100$$

Hodnota nebezpečí nám vyšla $L_R = 408 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Maximální doba ozáření podle vzorce $t_{max} = \frac{1000000}{L_B}$ nám vyšla 2452 s. Světlo tedy řadíme do kategorie nízkého nebezpečí podle normy ČSN 62471.



Obr. 5.7 Spektrum bodového světla SP26W10 ve viditelné oblasti.

5.8 Měření pruhového zářiče LL60W120

Tab 5.8 - Parametry daného zářiče

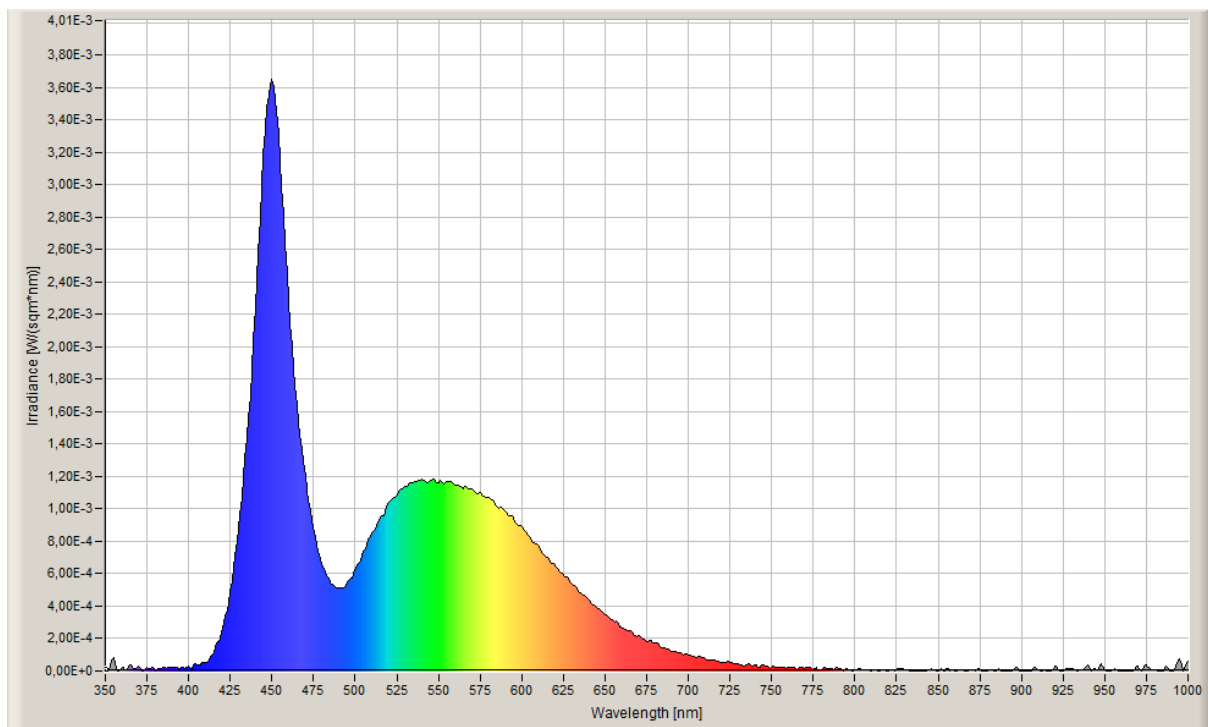
Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Příkon
24 V	60 mA	1,5 W

Jedná se o universální světlo, které je určeno k osvětlení většiny povrchů. Intenzita osvětlení je možná regulovat universálním kontrolorem CM-01 Mini.

Spektrum světla bylo měřeno pro viditelnou oblast po kroku 5 nm. Vyhodnocování bylo provedeno na ozáření modrého světla ze vzdálenosti 99,5cm v rozmezí 380 až 700 nm podle vztahu:

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100$$

Hodnota nebezpečí nám vyšla $L_R = 690 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Maximální doba ozáření podle vzorce $t_{max} = \frac{1000000}{L_B}$ nám vyšla 1449 s. Světlo tedy řadíme do kategorie nízkého nebezpečí podle normy ČSN 62471.



Obr. 5.8 Spektrum bodového světla LL60W120 ve viditelné oblasti.

5.9 Měření pruhového zářiče LL120W120

Tab 5.9 - Parametry daného zářiče

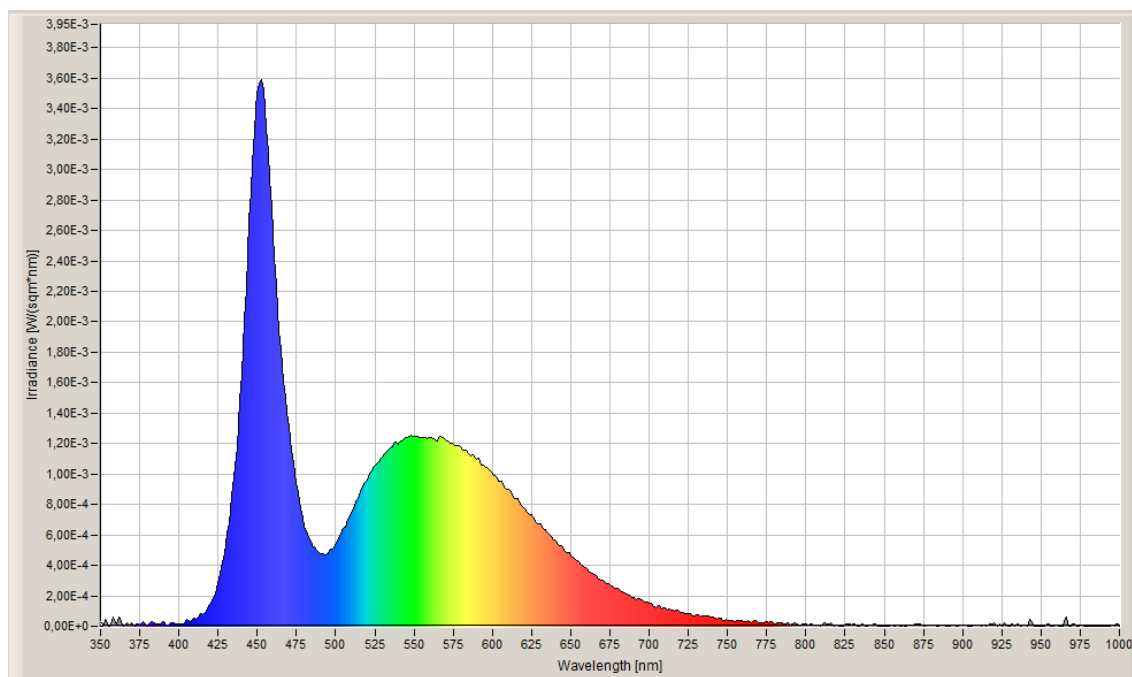
Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Příkon
24 V	133 mA	3,5 W

Jedná se o universální světlo, které je určeno k osvětlení většiny povrchů. Intenzita osvětlení je možná regulovat universálním kontrolorem CM-01 Mini.

Spektrum světla bylo měřeno pro viditelnou oblast po kroku 5 nm. Vyhodnocování bylo provedeno na ozáření modrého světla ze vzdálenosti 105,5cm v rozmezí 380 až 700 nm podle vztahu:

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100$$

Hodnota nebezpečí nám vyšla $L_R = 355 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Maximální doba ozáření podle vzorce $t_{\max} = \frac{1000000}{L_B}$ nám vyšla 2815 s. Světlo tedy řadíme do kategorie nízkého nebezpečí podle normy ČSN 62471.



Obr. 5.9 Spektrum bodového zářiče LL120W120 ve viditelné oblasti.

5.10 Měření pruhového zářiče LL130W120

Tab 5.10 - Parametry daného zářiče

Jmenovité napětí	Jmenovitý proud	Příkon
24 V	300 mA	7,2 W

Světla jsou určena pro aplikace, které jsou náročné na intenzivní vysoké osvětlení. Liniová světla jsou sestavena ze 2 řad LED diod při zachování kompaktních rozměrů. Májí homogenní světelné pole a jsou vhodné pro universální možnosti montáže.

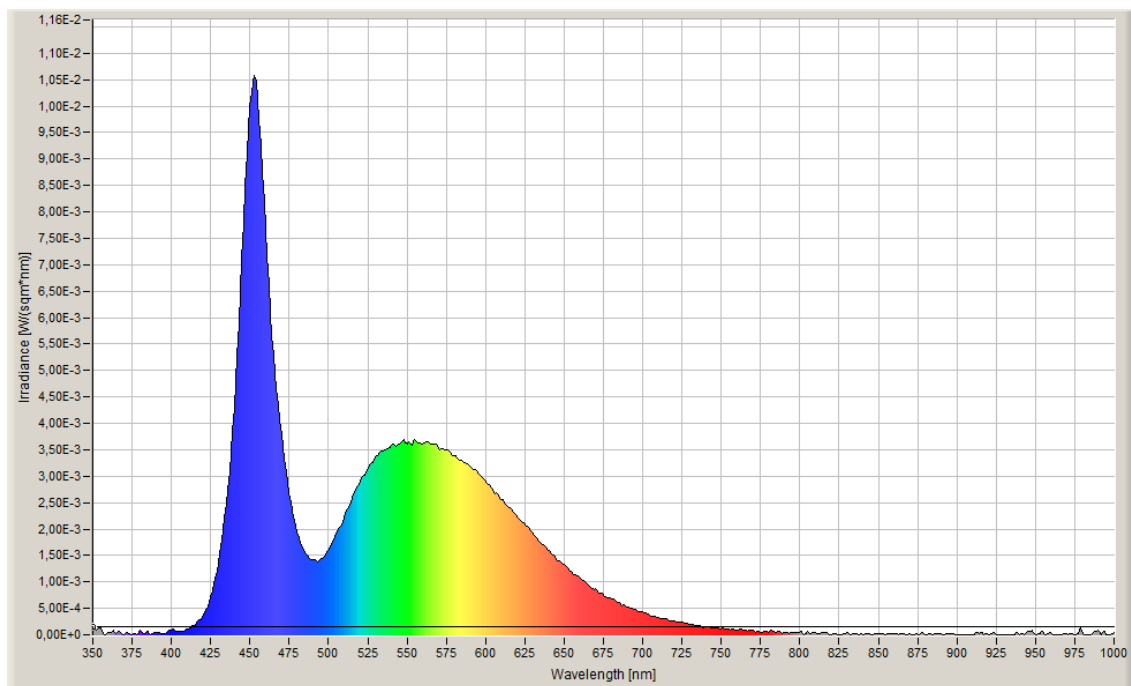
Spektrum světla bylo měřeno pro viditelnou oblast po kroku 5 nm. Vyhodnocování bylo provedeno na ozáření modrého světla ze vzdálenosti 1 m v rozmezí 380 až 700 nm podle vztahu:

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda}(\lambda) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100$$

Hodnota nebezpečí nám vyšla $L_R = 994 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Maximální doba ozáření podle vzorce $t_{max} = \frac{1000000}{L_B}$ nám vyšla 1006 s. Světlo tedy řadíme do kategorie nízkého nebezpečí podle normy ČSN 62471.



Obrázek 5-3 Ukázka High power zářiče LL130W120.[11]



Obr. 5.10 Spektrum bodového zářiče LL130W120 ve viditelné oblasti.

V níže uvedené tabulce 5.10 je zhodnocení všech zářičů podle platné normy ČSN EN 62471.

Tab 5.11 Vyhodnocení všech měřených zářičů.

Druhy světél	Meze vyzařování		
	UV záření	Nebezpečí modrého světla	Tepelné poškození sítě
SP-26UV18	Střední nebezpečí		
SP-26IR18			Vyjmuté zdroje
LL-60IR50			Vyjmuté zdroje
LL-120IR50			Vyjmuté zdroje
LL-130IR50			Vyjmuté zdroje
SP26W18		Nízké nebezpečí	
SP26W10		Nízké nebezpečí	
LL-60W120		Nízké nebezpečí	
LL-120W120		Nízké nebezpečí	
LL-130W120		Nízké nebezpečí	

5.11 Postup výpočtu z naměřených spekter

Tabulka 5.12 – Znázornění výpočtu jednoho světelného zdroje.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
850	0,5	3,56E-02	5	8,93E-02	4,47E-01	3,69	1,055	4,11	0,00144	2853	350,4943
855	0,49	5,99E-02	5	9,78E-05	4,89E-01						

Pro zjednodušení výpočtu jsem pro výpočet všech světél použil excel a následně na dvou řádcích jednotlivě popíšu výpočet po každém sloupci.

1. V prvním sloupci je znázorněna vlnová délka v nm.
2. Váhová funkce z normy pro fotobiologickou bezpečnost (pro každý typ záření se používá jiná).
3. Vložená data z měření.
4. Krok 5 nm pro výpočet integrálu (obsah pod křivkou), takový krok, protože měřicí přístroj, který byl použit při měření zapisoval data po 5 nm.
5. Vynásobení naměřených dat s váhovou funkcí (Sloupce 2, 3, 4).
6. Výpočet integrálu.
7. Celkový obsah pod křivkou pomocí funkce sumy.
8. Vzdálenost, z jaké bylo světlo měřeno v m.
9. Vynásobení obsahu pod křivkou s kvadrátem vzdálenosti, z které bylo měřeno.
10. Aktivní plocha zářivého zdroje.
11. Výsledná hodnota nebezpečí ozáření, dále se pak podle typu nebezpečí vyhodnocuje dle normy popsané výše.
12. Maximální doba ozáření daným zářivým zdrojem.

6 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo shrnout základní poznatky, které se odvíjejí kolem tématu fotobiologické bezpečnosti zářivých zdrojů, buď ve viditelném tak i v neviditelném spektru záření, naměřit a následně vyhodnotit několik zdrojů, zda odpovídají fotobiologické bezpečnosti. Část práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části jsou uvedeny znalosti z odborné literatury, internetu a uvedené normy. První kapitola se zabývá rozdělením vizuálního a nevizuálního záření od rentgenového až po mikrovlnné záření seřazeného podle vlnové délky od nejmenších po největší vlnové délky. Následující kapitola se zabývá fotobiologickou bezpečností zářivých zdrojů na různé poškození a zranění ke kterým by mohlo dojít špatným vyhodnocením zářivého zdroje. V dalších dvou kapitolách jsou shrnuty klasifikace zářivých zdrojů podle dané normy a popsány metody měření kterými je možno měřit. Také tam jsou uvedeny výpočty pro dané druhy záření, podle kterých se v praktické části vyhodnocuje.

V úvodu praktické části je ukázka a popis celého výpočtu pro jeden zářivý zdroj na tepelné poškození sítnice. Na fotobiologickou bezpečnost bylo celkem změřeno 10 zářivých zdrojů. Z toho byly z naměřeného spektra vyhodnoceny na aktinické poškození UV pro pokožku a oko, na nebezpečí modrého světla a na tepelné poškození sítnice.

Na nebezpečí aktinickým UV zářením byl vyhodnocen pouze jeden zdroj. Jedná se o bodové světlo SP26UV18 její záření bylo převážně v rozsahu UVA oblasti spektra. U tohoto zdroje byla naměřena a vyhodnocena hodnota $E_{s1} = 0,013 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, což je v porovnání s maximální hranicí pro nízké nebezpečné zdroje $E_{s1} = 0,03 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, proto byl zdroj zařazen do skupiny nízkého nebezpečí.

Na nebezpečí ozáření modrým světlem bylo naměřeno a následně vyhodnoceno pět zářivých zdrojů. Jednalo se o dva bodové zářivé zdroje a o tři pruhové zářivé zdroje s odlišným výkonem. U bodového zdroje SP26W18 nám vyšla hodnota záře nízká, a to $L_R = 2030 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ a nejvyšší doba povoleného záření je 492 s. Řadíme jej tedy do skupiny nízkého nebezpečí. Další zářivý zdroj je stejného typu, jen s nižším výkonem, a tudíž nám hodnota záře vyšla menší a to $L_R = 408 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ a maximální doba ozáření 2452 s. Následující tři zářivé zdroje byly pruhového typu k osvětlování většiny povrchů. Všechny byly vůči sobě srovnatelné, lišili se jen výkonem, a tak i konečné hodnoty podle toho vyšly. Nejvyšší hodnotu meze ozáření měl světelný zdroj s nejvyšším výkonem a to $L_R = 994 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ s maximální dobou ozáření 1006 s. Řadíme jej opět do skupiny s nízkým nebezpečím.

Poslední skupina zářivých zdrojů byla vyhodnocována na nebezpečí poškození sítnice v rozsahu vlnových délek 380 až 1000 nm. Celkem tedy čtyři zdroje. Prvním zářičem bylo bodové světlo SP26IR18, které bylo vyhodnoceno jako světlo vyjmuté, tedy bezpečné podle výsledné hodnoty záře $L_R = 6947 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ a maximální doby ozáření 144 s. Následující dva zářivé zdroje jsou pruhového typu LL60IR50 a LL120IR50. Výsledné hodnoty nám vyšly podobné a můžeme jej obě zařadit do bezpečných zdrojů podle hodnot $L_R = 3199$ a $2853 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$. Poslední zářivý zdroj LL130IR50 se používá pro vysoké a intenzivní osvětlování většiny povrchů, výsledná zář nám vyšla v téhle skupině zářivých zdrojů nejvyšší, a to $L_R = 6314 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ a maximální dobou ozáření 158 s, i přesto že vyšla největší, řadíme světelný zdroj taktéž mezi bezpečné zdroje.

7 Použité zdroje

- [1] What Are Microwaves?: Microwave heat sources [online]. By Jim Lucas, Live Science Contributor, 2018 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://www.livescience.com/50259-microwaves.html>
- [2] INFRARED BASICS: What is Infrared? [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: https://www.pro-therm.com/infrared_basics.php
- [3] Elektromagnetické spektrum [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.pion.cz/cs/clanek/elektromagneticke-spektrum>
- [4] Barevné vnímání oka: Barevné vidění [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://lasery.kvalitne.cz/index.php?text=31-barevne-vnimani-oka>
- [5] What Is Ultraviolet (UV) Radiation? [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://www.cancer.org/cancer/skin-cancer/prevention-and-early-detection/what-is-uv-radiation.html>
- [6] HABEL, J a kolektiv: světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 2013
- [7] Radiation Risks of X-Rays and Scans [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.imagingpathways.health.wa.gov.au/index.php/consumer-info/general-information-about-diagnostic-imaging/radiation-risks-of-x-rays-and-scans>
- [8] *Rentgenové vyšetření (RTG)* [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.ordinace.cz/clanek/rentgenove-vysetreni-rtg/>
- [9] Blue light hazard for the human eye [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <http://www.olino.org/us/articles/2011/09/13/blue-light-hazard-for-the-human-eye>
- [10] ČSN EN 62471. Fotobiologická bezpečnost světelných zdrojů a soustav světelných zdrojů. ÚNMZ, Červenec 2009
- [11] *Smartview* [online]. [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: <https://www.smartview.cz/osvetleni-strojoveho-videni>